



THESIS-MO2528

Studi Komparatif Konsep Desain Pembangkit Listrik Energi Panas Laut OTEC *Barge* untuk Wilayah Indonesia

Muhamad Fyan S.T.

NRP. 04311650030003

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Teknik dan Manajemen Energi Laut

Pascasarjana Teknologi Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

STUDI KOMPARATIF KONSEP DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI PANAS LAUT (OTEC) *BARGE* UNTUK WILAYAH INDONESIA

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik

pada

Bidang Keahlian Teknik dan Manajemen Energi Laut
Program Studi Pascasarjana Teknologi Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:

MUHAMAD FYAN DINGGI

NRP: 04311650030003

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Thesis:

1. Dosen Pembimbing Pertama



Prof. Ir. Mukhtasor M.Eng., Ph.D.

NIP: 19690420 199403 1 003

2. Dosen Pembimbing Kedua



Dr. Eng. Rudi Waluyo Prastianto. S.T., M.T.

NIP: 19710508 199703 1 001

Surabaya, Januari 2018

LEMBAR PENGESAHAN

Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

Pada

Bidang keahlian Teknik dan Manajemen Energi Laut
Program Studi Pascasarjana Teknologi Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

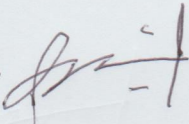
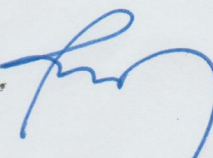
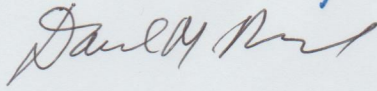
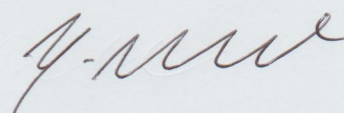
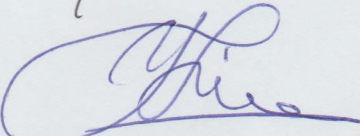
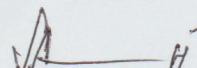
Muhamad Fyan

NRP. 04311650030003

Tanggal Ujian : 15 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Mukhtasor M.Eng., Ph.D.  (Pembimbing I)
NIP. 19690420 199403 1 003
2. Dr. Eng. Rudi Waluyo Prastianto, S.T., M.T.  (Pembimbing II)
NIP. 19710508 199703 1 001
3. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.  (Penguji I)
NIP. 19610702 198803 1 003
4. Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST, M.Sc.  (Penguji II)
NIP. 19731207 200112 1 001
5. Nur Syahroni ST. MT. Ph.D.  (Penguji III)
NIP. 19730602 199903 1 002
6. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji IV)
NIP. 19711105 199512 1 001

Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

NIP. : 19610702 198803 1 003



LEMBAR PENGESAHAN

Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

Pada
Bidang keahlian Teknik dan Manajemen Energi Laut
Program Studi Pascasarjana Teknologi Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Muhamad Fyan
NRP. 04311650030003

Tanggal Ujian : 15 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Mukhtasor M.Eng., Ph.D. (Pembimbing I)
NIP. 19690420 199403 1 003
2. Dr. Eng. Rudi Waluyo Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing II)
NIP. 19710508 199703 1 001
3. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. (Penguji I)
NIP. 19610702 198803 1 003
4. Dr.Eng. Yeyes Mulyadi ST. M.Sc. (Penguji II)
NIP. 19731207 200112 1 001
5. Nur Syahroni ST. MT. Ph.D. (Penguji III)
NIP. 19730602 199903 1 002
6. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji IV)
NIP. 19711105 199512 1 001

Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

NIP. 19610702 198803 1 003

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tesis yang berjudul “**Studi Komparatif Konsep Desain Pembangkit Listrik Energi Panas Laut OTEC Barge untuk Wilayah Indonesia.**” ini dapat selesai dengan baik. Tidak lupa juga shalawat serta salam saya curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Dosen Pembimbing Pertama Tesis Bapak Prof. Ir. Mukhtasor M.Eng., Ph.D.
2. Dosen Pembimbing Kedua Tesis Bapak Dr. Eng. Rudi Waluyo Prastianto, ST., M.T.
3. Paman Ade yang selalu memberikan dukungan secara moril maupun batin terhadap penulis.
4. Adilla Rahma Sarastri, Bapak Sugiharso Safuan dan Mba Vania yang selalu memberikan semangat maupun doa yang tiada henti.
5. Muhammad Rino Athoillah, Zul Haris Olivianto, Yani Nurita, Fahreza Okta yang telah meluangkan waktunya untuk belajar bersama-sama dan mengerjakan Tesis.
6. Kakak Senior penulis Adi S, Sonny Anggara dan Dendy S. yang telah memberikan waktu luangnya untuk berdiskusi bersama.
7. Nabiel Mufti, Muhamad Aulia, Ghafiqi Widjan Haq, Lukky Prasetyo, Trifajar Meinanda, Ahmad Muhtadi, Sholihah Widyastuti, Clara Yunita, Nona Theresia, Nidia Amalia, Juwita Karunia, M Ardan, Fachrul Husein dan keluarga P-51 (CENTERLINE), yang selalu menemani dan mendukung penulis.

Penulis berusaha agar Tesis ini dapat diselesaikan sebaik mungkin namun kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juni 2015

Muhamad Fyan Dinggi

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Muhamad Fyan S.T.
NRP : 04311650030003
Pembimbing : 1. Prof. Ir. Mukhtasor M.Eng., Ph.D.
2. Dr. Eng. Rudi Waluyo Prastianto. ST., M.T.

Pemerintah Indonesia telah membuat rencana besar untuk menjaga kestabilan energi Indonesia dan menanggapi isu dunia yaitu menciptakan energi yang ramah lingkungan. Salah satu dari rencana tersebut adalah pengembangan dan pembuatan pembangkit listrik energi baru terbarukan (EBT) seperti energi laut dan mengurangi pasokan energi primer (energi fosil) yang digunakan. Indonesia memiliki potensi energi panas laut (*Ocean Thermal Energy Conversion*) yang tinggi, dikarenakan faktor geometri yang dimiliki oleh wilayah Indonesia. Walaupun konsep OTEC sederhana dan tua, pengembangan tentang OTEC belum terbilang signifikan. Pandangan khusus terhadap OTEC lepas pantai (offshore) yang belum memiliki perkembangan di Indonesia ini, memiliki keuntungan bebas dari lahan tanah dan merupakan investasi yang dapat berpindah-pindah. Maka dari itu dibuatlah desain OTEC *barge* untuk wilayah Indonesia dengan memperhitungkan analisis teknis, berupa stabilitas, analisis *respon amplitude operation* (RAO) dan analisis *mooring tendon*, sehingga dengan menggunakan metode *parent based design* didapatkan tiga konsep desain OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW. Untuk merealisasikan penelitian ini maka analisis ekonomi dari OTEC *barge* juga diperhitungkan dan dilakukannya proses optimalisasi terkait daerah titik lokasi potensi OTEC yang paling optimum dan ditemukan bahwa lokasi kepulauan Talaud memiliki nilai IRR yang paling tinggi dengan menggunakan OTEC *barge* 50 MW.

Kata Kunci: OTEC, OTEC *barge*, Indonesia

ABSTRACT

Student : Muhamad Fyan S.T.
NRP : 04311650030003
Supervisor : 1. Prof. Ir. Mukhtasor M.Eng., Ph.D.
2. Dr. Eng. Rudi Waluyo Prastianto. ST., M.T.

The Government of Indonesia has made great plans to maintain Indonesia's energy stability and respond to the world issue of creating environmentally friendly energy. One of these plans is the development and manufacture of new renewable energy generation (EBT) such as ocean energy and reducing the supply of primary energy (fossil energy) used. Indonesia has the potential of ocean thermal energy conversion (high thermal energy conversion), due to geometric factors that are owned by the territory of Indonesia. Although the OTEC concept is simple and old, the development of OTEC has not been significant. This particular view of the offshore OTEC that has not yet developed in Indonesia, has the advantage of being free of land and is a moveable investment. Therefore, OTEC barge design is made for Indonesia region by taking into account technical analysis, in the form of stability, amplitude response (RAO) analysis and mooring tendon analysis, so using parent-based design method obtained three OTEC design concept of barge 5 MW, 10 MW and 50 MW. To realize this research, the economic analysis of OTEC barge is also calculated and the optimization process is done related to the most optimum location point location of OTEC and found that the location of Kepulauan Talaud has the highest IRR value using OTEC barge 50 MW.

Keywords: OTEC, OTEC *barge*, Indonesia

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK	iii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah	5
1.3. Tujuan	5
1.4. Manfaat penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Hipotesis	6
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	7
2.1. Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC).....	7
2.1.1 Konsep Dasar Cara Kerja Pembangkit OTEC.....	10
2.1.2 Estimasi Hasil Energi Panas Laut.....	10
2.2. Jenis-Jenis Pembangkit Listrik OTEC	12
2.3.1 Berdasarkan Siklus OTEC.....	13
2.3.2. Berdasarkan Letak Pembangkit Listrik OTEC Beroperasi.....	15
2.3. Lokasi Potensi OTEC di Indonesia.....	18
2.4. OTEC <i>Barge</i>	19
2.5.1 Kriteria Desain <i>OTEC Barge</i>	21

2.5.2 Stabilitas <i>Barge</i>	21
2.5. Pipa Air Laut (<i>Riser</i>) OTEC.....	22
2.6. Sistem Penambatan (<i>Mooring System</i>) OTEC <i>Barge</i>	24
2.7. Konsep Desain.....	26
2.8. Metode Konsep Desain <i>OTEC Platform (Barge)</i>	27
2.6.1 <i>Parent Design Approach</i>	27
2.6.2 <i>Trend Curve Approach</i>	27
2.6.3 <i>Iteratif Design Approach</i>	28
2.6.4 <i>Parametric Design Approach</i>	28
2.6.5 <i>Optimation Design Approach</i>	28
2.9. Tinjauan Teknis Perancangan OTEC <i>Barge</i>	29
2.8.1 Penentuan Ukuran Utama Dasar	29
2.8.2 Koefisien Utama Kapal	29
2.8.3 Perhitungan Berat dan Titik Berat Kapal	31
2.8.4 Analisis Stabilitas.....	31
2.10. Olah Gerak Bangunan Laut Terapung Akibat Eksitasi Gelombang...	34
2.7.1 Heave.....	35
2.7.2 Surge	35
2.7.3 Sway	36
2.7.4 Roll.....	36
2.7.5 Pitch	37
2.7.6 Yaw	37
2.11. Arah Gerakan <i>barge</i> terhadap Gelombang	38
2.12. Frekuensi dan Periode Alami.....	39
2.13. Response Amplitude Operators (RAOs).....	40
2.14. Spektrum Gelombang	41

2.15.	Respon Spektrum pada Gelombang Acak (Irregular Wave).....	43
2.9	Analisis Ekonomi.....	45
2.9.1	Net Present Value (NPV)	46
2.9.2	Break Even Point Analysis (BEP).....	47
2.9.3	Internal Rate of Return (IRR).....	49
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		50
3.1	Pendahuluan	51
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	51
3.3	Langkah Pekerjaan	51
3.3.1	Pengumpulan Data.....	51
3.3.2	Perhitungan Teknis OTEC <i>Plant System</i>	52
3.3.3	Penentuan Ukuran Utama OTEC <i>barge</i>	52
3.3.4	Analisis Teknis dan Penentuan Parameter Desain	52
3.3.6	Perhitungan Ekonomi	53
3.3.7	Pemilhan Lokasi Operasi OTEC	53
BAB IV. DESAIN OTEC BARGE		55
4.1	Pendahuluan	55
4.2	Skenario Desain Daya Listrik.....	55
4.2	Perencanaan Dimensi <i>Riser OTEC Barge</i>	56
4.3	Dimensi Penukar panas (<i>Heat Exchanger</i>) dan Turbin Generator	60
4.4	Sketsa Dimensi Utama <i>OTEC Barge</i>	61
4.5	Pemeriksaan Ukuran Utama <i>OTEC Barge</i>	66
4.6	Perhitungan Koefisien, LCB dan Displasemen	66
4.7	<i>Lightweight Calculation</i>	67
4.7.1	<i>Steel Weight</i>	68
4.7.2	<i>Equipment and Outfitting Weight</i>	73

4.7.3 Machinery Weight	74
4.7.4 Riser Weight.....	74
4.8 Deadweight Calculation	75
4.8.1 Crew and consumable	75
4.8.2 Mass flow of Fluid on Board.....	77
4.8.3 Fixed Ballast	78
4.9 Titik Berat OTEC Barge	79
4.9.1 LWT	79
4.9.2 DWT.....	82
4.10 Total Weight & Center of Mass Recapitulation.....	83
BAB V. ANALISIS STABILITAS DELIVERY OTEC BARGE.....	87
5.1 Pembuatan Model OTEC Barge.....	87
5.2 International Code on Intact Stability, 2008	89
5.3 Part A Mandatory Criteria	89
5.4 Proses Analisis Stabilitas.....	90
BAB VI. ANALISIS RAO DAN MOORING OTEC BARGE.....	93
6.1 Data Lingkungan	93
6.2 Analisis Gerakan Struktur OTEC Barge pada Gelombang Reguler Kondisi <i>Free-Floating</i>	96
6.2.1 Hasil Kurva RAO pada Sudut 0° dan 180°	97
6.2.2 Hasil Kurva RAO pada Sudut 45° dan 135°	99
6.2.3 Hasil Kurva RAO pada sudut 90°	101
6.3 Analisis Gerakan Struktur OTEC Barge pada Gelombang Acak Kondisi Terapung	103
6.4 Analisis Gerakan Struktur OTEC Barge pada Gelombang Reguler Kondisi Tertambat	107

6.4.1	Hasil Kurva RAO pada Sudut 0° dan 180°	107
6.4.2	Hasil Kurva RAO pada Sudut 45° dan 135°	110
6.4.3	Hasil Kurva RAO pada sudut 90°	112
6.5	Analisis Gaya Tarik Maksimum pada Rantai Jangkar.....	113
BAB VII. ANALISIS EKONOMI OTEC BARGE		117
7.1	<i>Capital Cost of OTEC barge</i>	117
7.2	Analisis IRR.....	124
BAB VIII. KESIMPULAN DAN SARAN		129
8.1	Kesimpulan	129
8.2	Saran	130
DAFTAR PUSTAKA.....		132
LAMPIRAN		135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sasaran Bauran Energi Nasional	1
Gambar 1.2 Suhu permukaan laut wilayah Indonesia per-tanggal 9 Juli 2017 (www.ospo.noaa.gov)	3
Gambar 1.3 (a) Pembangkit Listrik OTEC Okinawa (Otecokinawa.com) (b) Mini OTEC India	4
Gambar 2.1 Temperatur air laut untuk menjadi sumber tenaga OTEC (William H. Avery, 1994)	8
Gambar 2.2 Ilustrasi perpindahan panas sistem OTEC.	11
Gambar 2.3 Kategori Pembangkit Listrik OTEC.....	12
Gambar 2.4 Siklus tertutup (<i>closed cycle</i>) OTEC (IRENA).....	13
Gambar 2.5 Siklus terbuka (<i>open cycle</i>) OTEC (IRINA).....	14
Gambar 2 6 Siklus campuran (<i>hybrid cycle</i>) OTEC (IRINA).....	14
Gambar 2 7 Dari sebelah kiri adalah MINI-OTEC , NEMO, NIOT (<i>oteci.com</i> , <i>dcns.com, marinebuzz.com</i>)	15
Gambar 2 8 Pilihan alternatif platform OTEC terapung (William H. Avery, 1994)	16
Gambar 2 9. OTEC MAKAI dan OTEC OKINAWA (Makai.com dan OTECokinawa.com).....	17
Gambar 2 10 Desain OTEC <i>barge</i> 10 MW Vega (Vega, 2012)	19
Gambar 2 11 OTEC <i>barge</i> 50 MW Vega (Vega, 2010)	20
Gambar 2.12 Berbagai pilihan konsep desain struktur pipa air dingin OTEC (William H. Avery, 1994)	23
Gambar 2.13 Konfigurasi pipa air dingin OTEC 100 MW (G. C. Nihous & L. A. Vega, 1993).....	24
Gambar 2.14 Skema sistem tambat (R. Magesh, 2010).....	25
Gambar 2.15 Diagram desain spiral (Watson, 1998).....	26
Gambar 2.16 Volume Bagian Tercelup Dilingkupi Balok (Konsep dasar Perkapalan).....	30

Gambar 2.17 Derajat kebebasan pada bangunan laut terapung (Sandaruwan, 2010)	34
Gambar 2 18 5 Arah Datang Gelombang terhadap Kapal.....	38
Gambar 2 19. Transformasi Spektrum Gelombang menjadi Respon Spektrum (Ahadyanti, 2015).....	44
Gambar 2 20 Grafik BEP(Apptivo.com).....	47
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian	54
Gambar 4.1 Sketsa gambar OTEC barge 5 MW.	62
Gambar 4.2 Sketsa gambar OTEC barge 10 MW.	63
Gambar 4.3 Sketsa gambar OTEC barge 50 MW.	64
Gambar 5.1 Pemodelan OTEC <i>barge</i> 5 MW dengan menggunakan <i>maxsurf modeler</i> , dari atas tidak menggunakan pipa dan dibawah menggunakan pipa.	88
Gambar 5.2 Room definition window, pembuatan model tangki-tangki.	90
Gambar 5.3 Model Tangki dalam bentuk 3D.....	91
Gambar 5.4 Pemilihan kriteria analisis untuk selanjutnya dilakukan proses <i>solve</i>	92
Gambar 6 1 Nilai RAO gerakan <i>surge</i> , <i>sway</i> <i>heave</i> pada sudut 0° (<i>free-floating</i>).	97
Gambar 6.2 Nilai RAO gerakan <i>surge</i> , <i>sway</i> <i>heave</i> pada sudut 180° (<i>free-floating</i>).	98
Gambar 6 3 Nilai RAO gerakan <i>roll</i> , <i>pitch</i> , <i>yaw</i> pada sudut 0° (<i>free-floating</i>). ...	98
Gambar 6.4 Nilai RAO gerakan <i>roll</i> , <i>pitch</i> , <i>yaw</i> pada sudut 180° (<i>free-floating</i>). ..	99
Gambar 6.5 Nilai RAO gerakan <i>surge</i> , <i>sway</i> <i>heave</i> pada sudut 45° (<i>free-floating</i>).	99
Gambar 6.6 Nilai RAO gerakan <i>surge</i> , <i>sway</i> <i>heave</i> pada sudut 135° (<i>free-floating</i>).	100
Gambar 6.7 Nilai RAO gerakan <i>roll</i> , <i>pitch</i> , <i>yaw</i> pada sudut 45° (<i>free-floating</i>). ..	100
Gambar 6.8 Nilai RAO gerakan <i>roll</i> , <i>pitch</i> , <i>yaw</i> pada sudut 135° (<i>free-floating</i>).	101
Gambar 6.9 Nilai RAO gerakan <i>surge</i> , <i>sway</i> , <i>heave</i> pada sudut 90° (<i>free-floating</i>).	102

Gambar 6.10 Nilai RAO gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada sudut 90° (<i>free-floating</i>).	102
Gambar 6.11 Spektrum gelombang JOHNSWAP enam lokasi potensi OTEC..	103
Gambar 6.12 Respon spectra gerakan <i>surge, sway, heave</i> pada lokasi II (5 MW).	104
Gambar 6.13 Respon spectra gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada lokasi II (5 MW)...	104
Gambar 6.14 Respon spectra gerakan <i>surge, sway, heave</i> pada lokasi II (10 MW).	105
Gambar 6.15 Respon spectra gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada lokasi II (10 MW).	105
Gambar 6.16 Respon spectra gerakan <i>surge, sway, heave</i> pada lokasi II (50 MW).	106
Gambar 6.17 Respon spectra gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada lokasi II (50 MW).	106
Gambar 6.18 Nilai RAO gerakan <i>surge, sway heave</i> pada sudut 0°	108
Gambar 6.19 Nilai RAO gerakan <i>surge, sway heave</i> pada sudut 180°	108
Gambar 6.20 Nilai RAO gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada sudut 0°	109
Gambar 6.21 Nilai RAO gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada sudut 180°	109
Gambar 6.22 Nilai RAO gerakan <i>surge, sway heave</i> pada sudut 45°	110
Gambar 6.23 Nilai RAO gerakan <i>surge, sway heave</i> pada sudut 135°	110
Gambar 6.24 Nilai RAO gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada sudut 45°	111
Gambar 6.25 Nilai RAO gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada sudut 135°	111
Gambar 6.26 Nilai RAO gerakan <i>surge, sway, heave</i> pada sudut 90°	112
Gambar 6.27 Nilai RAO gerakan <i>roll, pitch, yaw</i> pada sudut 90°	113
Gambar 6.28 Hasil pemodelan simulasi tertambat	114

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Sumber Daya Energi Laut Dunia (Huckerby, J. dkk,2015), (Mukhtasor,2015)	2
Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik <i>OTEC</i> (Mukhtasor, 2014)	9
Tabel 2 2 Perbandingan teknologi platform <i>OTEC barge</i> (Nancy E. Kinner, 2009)	16
Tabel 2 3 Lokasi potensi <i>OTEC</i> lepas pantai di Indonesia (Mukhtasor, 2014).....	18
Tabel 2 4. Rumus Umum RAO, (Sholihin, 2015).	41
Tabel 4.1 Nilai P_{net} dan P_{gross}	55
Tabel 4.2 Titik lokasi potensi <i>OTEC</i> di indonesia (Mukhtasor, 2014).	56
Tabel 4.3 Hasil perhitungan laju aliran air laut kedalaman 700 m.....	57
Tabel 4.4 Hasil perhitungan laju aliran air laut permukaan.	57
Tabel 4.5 Hasil perhitungan diameter pipa air laut kedalaman 700 m.	58
Tabel 4 6 Hasil Perhitungan Diameter Pipa Air Laut Permukaan.....	58
Tabel 4.7 Diameter pipa air laut permukaan dan kedalaman 700 m yang diambil.	58
Tabel 4.8 Hasil Dimensi pipa pada penelitian lainnya.	59
Tabel 4.9 Dimensi Pipa air laut campuran (mixed water discarded pipe).....	59
Tabel 4.10 Dimensi utama <i>heat exchanger</i> dan <i>turbine generator</i> . (Vega, 2012).60	
Tabel 4 11 HE dan TG. yang dibutuhkan tiap pembangkit.	60
Tabel 4 12 Data kapal pembanding tiap pembangkit.	61
Tabel 4 13 Hasil penambahan dimensi <i>OTEC barge</i>	65
Tabel 4 14 Contoh perhitungan minimal dan maksimal panjang sekat tubrukan. 65	
Tabel 4 15 Panjang sekat tubrukan <i>OTEC barge</i> tiap MW.	65
Tabel 4 16 Contoh perhitungan pengecekan rasio ukuran utama <i>barge</i> 5 MW....	66
Tabel 4 17 Hasil rekapan perhitungan rasio ukuran utama kapal.....	66
Tabel 4 18 Contoh perhitungan koefisien utama <i>OTEC barge</i> 5 MW.....	67
Tabel 4 19 Rekapitulasi perhitungan Koefisien, LCB dan Displasemen	67

Tabel 4.20 Persamaan ukuran panjang dan lebar bangunan atas.	68
Tabel 4 21 Rekapitan berat badan baja <i>OTEC barge 5 MW</i>	69
Tabel 4 22 Rekapitan berat badan Baja <i>OTEC barge 10 MW</i>	70
Tabel 4 23 Rekapitan berat badan Baja <i>OTEC barge 50 MW</i>	71
Tabel 4 24 Contoh perhitungan berat <i>superstructure</i> dan <i>deckhouse</i> <i>OTEC barge 5 MW</i>	72
Tabel 4.25 Rekapitan hasil perhitungan berat baja Superstructure & deckhouse ...	72
Tabel 4 26 Kategori perhitungan E&O.	73
Tabel 4.27 Rekapitan hasil perhitungan berat E&O.	74
Tabel 4 28 Rekapitan hasil perhitungan berat permesinan <i>OTEC barge</i>	74
Tabel 4 29 Rekapitulasi hasil perhitungan berat awak <i>OTEC barge</i>	76
Tabel 4 30 Contoh perhitungan berat <i>consumable</i> pada <i>OTEC barge 5 MW</i>	76
Tabel 4.31 Rekapitulasi perhitungan berat bahan bakar dan berat minyak pelumas.	77
Tabel 4.32 Rekapitulasi perhitungan berat air tawar.	77
Tabel 4.33 Rekapitulasi hasil berat crew and consumable pad tiap pembangkit..	77
Tabel 4 34 Berat ammonia	78
Tabel 4 35 Rekapitulasi hasil berat <i>mass flow of fluid on board</i> pad tiap pembangkit.	78
Tabel 4.36 Pengecekan selisis displasemen dan LWT+DWT untuk mencari <i>fixed ballast</i>	78
Tabel 4.37 Rekapitulasi perhitungan <i>fixed ballast</i> pada tiap pembangkit	79
Tabel.4 38 Contoh perhitungan titik berat permesinan <i>OTEC barge 5MW</i>	80
Tabel 4 39 Contoh perhitungan titik berat baja <i>OTEC barge 5 MW</i>	80
Tabel 4 40 Contoh perhitungan titik berat <i>equipment</i> dan <i>outfitting</i> <i>OTEC barge 5MW</i>	81
Tabel 4 41 Contoh perhitungan titik berat <i>fixed ballast</i> pada <i>OTEC barge 5 MW</i>	83
Tabel 4.42 Rekapitulasi total berat dan titik berat LWT DWT <i>OTEC barge 5 MW</i>	84
Tabel 4.43 Rekapitulasi total berat dan titik berat LWT DWT <i>OTEC barge 10 MW</i>	85

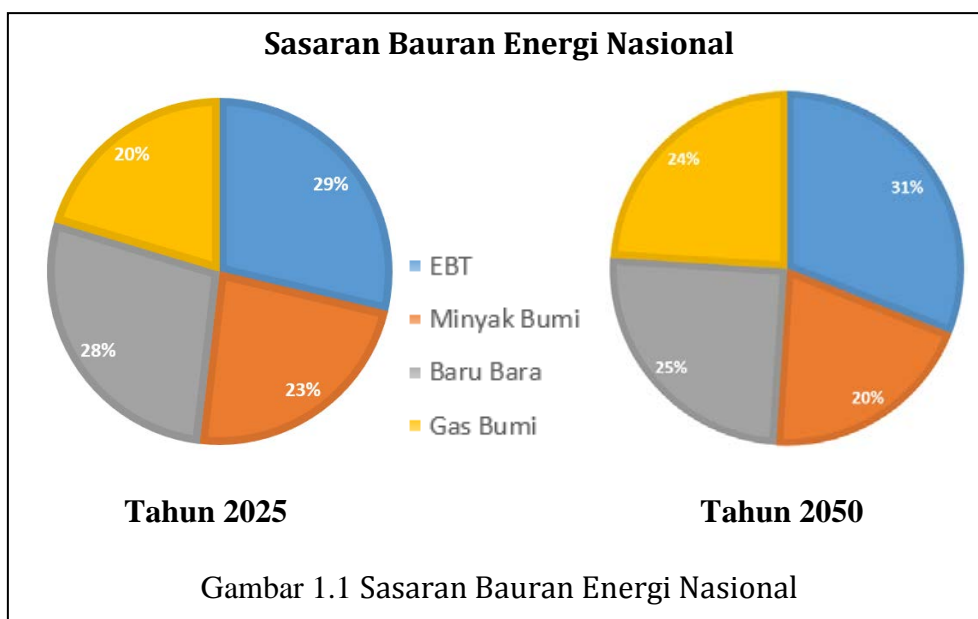
Tabel 4.44 Rekapitulasi total berat dan titik berat LWT DWT <i>OTEC barge</i> 50 MW.	86
Tabel 5 1 Hasil hidrostatik desain dan maxurf.....	88
Tabel 5.2 Rekapitulasi analisis stabilitas tiap pembangkit.....	92
Tabel 6 1 Model Distribusi Gumbel dan Weibull.	93
Tabel 6.2 Data lingkungan pada titik lokasi OTEC.....	94
Tabel 6.3 Data Rantai Jangkar.....	107
Tabel 6 4 Hasil simulasi <i>tension force</i>	114

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Energi merupakan besaran kekal yang dapat diubah bentuknya menjadi energi listrik. Dalam kehidupan manusia, energi listrik merupakan kebutuhan utama yang sangat besar. Tidak terkecuali di Indonesia, kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Akan tetapi peningkatan kebutuhan energi ini tidak sebanding dengan jumlah persediaan energi fosil yang saat ini masih menjadi energi utama untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik. Persediaan energi fosil yang terbatas dan semakin mahal membuat memicu Energi terbarukan muncul untuk menghadapi permasalahan krisis energi tersebut. Energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami dan prosesnya berkelanjutan.

Dalam menanggapi isu energi ini, pemerintah Indonesia telah membuat berbagai kebijakan, salah satunya adalah Kebijakan Energi Nasional dalam pengembangan energi terbarukan (EBT). Seperti yang dilihat pada Gambar 1.1, pada tahun 2025 peran energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 23%



sepanjang keekonomiannya terpenuhi, minyak bumi kurang dari 25%, batu bara minimal 30%, dan gas bumi minimal 22%. Pada tahun 2050 peran energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 31% sepanjang keekonomiannya terpenuhi, minyak bumi kurang dari 20%, batubara minimal 25%, dan gas bumi minimal 24% (RUPTL PLN 2016-2025).

Salah satu energi terbarukan yang saat ini terus dikembangkan teknologinya adalah energi laut. Berdasarkan rencana pemerintah yang dicantumkan pada RUPTL PLN, energi berbasis tenaga laut sampai saat ini harus terus dikembangkan untuk mendapatkan teknologi berbasis manufaktur. Energi laut menurut Wave Energy Centre yang bekerja sama dengan Implementing Agreement on Ocean Energy System (OES), mendefinisikan bahwa energi laut adalah energi yang dihasilkan dari beberapa teknologi yang menggunakan sumber energi dari tenaga gelombang, arus laut, pasang surut, perbedaan panas laut (Ocean Thermal Energy Conversion) dan perbedaan salinitas (kadar garam) untuk menghasilkan listrik.

Tabel 1.1 Sumber Daya Energi Laut Dunia (Huckerby, J. dkk, 2015),
(Mukhtasor, 2015)

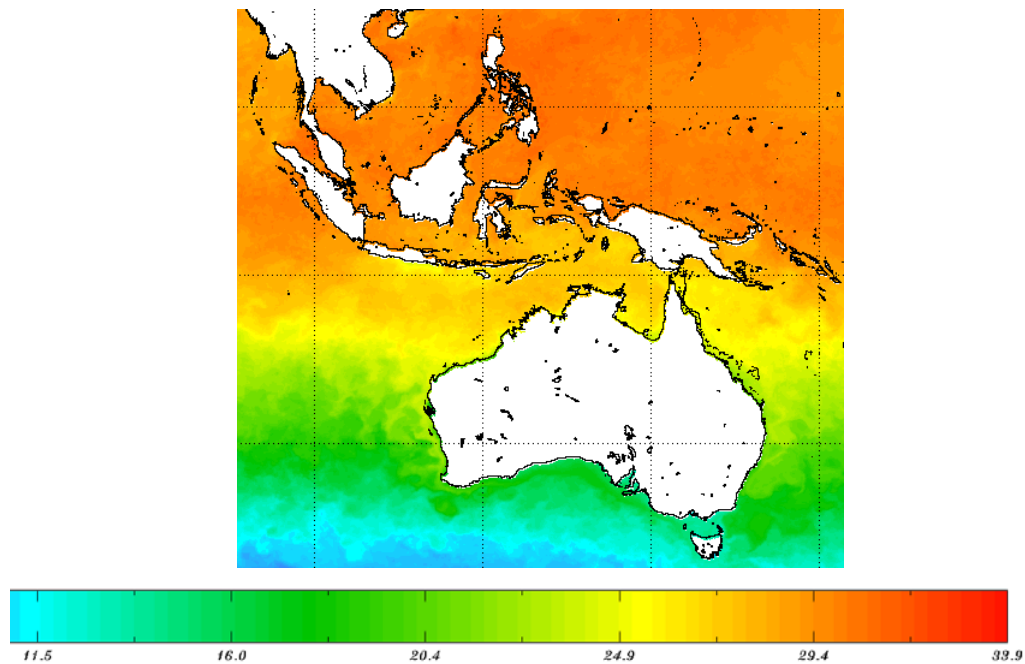
TIPE	SUMBER DAYA [TWh/tahun]
Gelombang Laut	29500
Arus Pasang Surut	1200
Panas Laut	44000

¹Mork, G., Barstow, S., Pontes, M.T dan Kabuth, A., 2010

²World Energy Council, 2010.

³Nihous, G.C., 2007.

Salah satu energi laut yang memiliki potensi besar di perairan Indonesia adalah energi panas laut (Ocean thermal Energy Conversion). Tabel 1.1 menunjukkan banyaknya energi listrik yang dihasilkan dengan menggunakan energi laut dan dapat dilihat bahwa energi paling besar ditunjukkan pada energi panas laut (OTEC). Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) merupakan teknologi penghasil energi listrik yang memanfaatkan perbedaan temperatur dari permukaan laut dan laut dalam dan dipadukan dengan aliran fluida kerja yang memiliki titik didih rendah sehingga fluida kerja dalam bentuk gas dapat memutar turbin pada pembangkit listrik.



Gambar 1.2 Suhu permukaan laut wilayah Indonesia per-tanggal 9 Juli 2017
(www.ospo.noaa.gov)

Sebuah sumber daya termal OTEC membutuhkan suhu laut minimal 20°C dan memerlukan nilai-nilai khas suhu rata rata 25°C [Vega LA, 2003]. Dapat dilihat pada Gambar 1.2 menunjukkan keadaan suhu laut permukaan wilayah Indonesia yang mempunyai suhu lebih dari 20°C , hal ini disebabkan posisi geografis Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa atau ekuator (garis imanjasi). Hal ini menyebabkan banyaknya titik lokasi potensi OTEC yang tersebar di wilayah Indonesia. Akan tetapi dengan banyaknya titik lokasi OTEC yang dimiliki di Indonesia, belum adanya pembangkit listrik OTEC yang dibangun dan beroperasi di wilayah Indonesia, hal ini dikarenakan kurangnya pengembangan, penelitian dan kajian studi secara teknis dan ekonomi untuk membangun pembangkit listrik OTEC di Indonesia, sehingga untuk menentukan lokasi mana yang baik untuk dibangun pembangkit listrik OTEC secara teknis dan ekonomi belum ditentukan.

Pembangkit listrik OTEC berukuran kecil dapat memproduksi dari 1MW sampai 10 MW energy listrik dan setidaknya 1700 m³ sampai 3500 m³ air yang digunakan per-hari. Dengan kuantitas tersebut dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dari 4.500 sampai 100.000 penduduk (Vega LA, 2003). Pembangkit OTEC

berukuran kecil dapat memproduksi dari 1MW sampai 10 MW energy listrik dan setidaknya 1700 m³ sampai 3500 m³ air yang digunakan per-hari. Dengan kuantitas tersebut dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dari 4.500 sampai 100.000 penduduk (Vega LA, 2003).

Seperti yang digambarkan pada Gambar 1.3 pembangkit listrik OTEC dapat beroperasi di lepas pantai (*offshore*) maupun di tepi pantai (*onshore*). Pengoperasian di laut memiliki beberapa kelebihan yaitu membutuhkan panjang *riser* yang lebih kecil dibandingkan dengan pengoperasian di *onshore* dan mampu menyediakan suplai listrik pada area dengan infrastruktur yang minim dan tidak mempunyai batasan lahan, sehingga menjadi pilihan terbaik untuk negara kepulauan seperti negara Indonesia. Saat ini untuk melakukan pengoperasian di laut *platform* yang dianggap baik digunakan untuk OTEC adalah berbentuk *barge*. Dengan melakukan pengoperasian di laut ini, maka *OTEC barge* harus memiliki struktur yang kuat menghadapi beban luar seperti gelombang laut.



Gambar 1.3 (a) Pembangkit Listrik OTEC Okinawa (Otecokinawa.com) (b) Mini OTEC India

Dengan semua penjelasan dan kondisi yang ada maka perlukan penelitian mengenai pembangkit listrik OTEC untuk menunjang perencanaan EBT Indonesia dengan menggunakan *platform* dalam bentuk *barge* dan butuhnya penentuan lokasi potensi OTEC yang dapat digunakan untuk menjadi titik lokasi operasi pertama OTEC *barge* di wilayah Indonesia.

1.2. Rumusan masalah

Sehubungan dengan latar belakang tersebut maka permasalahan yang akan dibahas pada thesis ini adalah:

- Bagaimana hasil kajian teknis konsep desain OTEC *barge* untuk lokasi OTEC lepas pantai di wilayah Indonesia.
- Bagaimana hasil kajian ekonomi untuk sekenario yang telah memenuhi kriteria teknis OTEC *barge*.
- Bagaimana hasil studi banding konsep OTEC *barge* untuk wilayah Indonesia dan bagaimana menentukan lokasi yang dianggap paling berpotensi untuk menjadi lokasi operasi OTEC *barge*.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan Thesis ini adalah:

- Melakukan kajian teknis OTEC *barge* untuk lokasi potensial OTEC lepas pantai di wilayah Indonesia.
- Melakukan kajian ekonomi untuk skenario yang telah memenuhi kriteria teknis OTEC *barge*.
- Melakukan studi banding konsep OTEC *barge* untuk wilayah Indonesia dan menentukan lokasi yang dianggap paling berpotensi untuk menjadi lokasi operasi OTEC *barge*.

1.4. Manfaat penelitian

Dari Thesis ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Thesis ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.

2. Secara praktek, diharapkan hasil dari Thesis ini adalah untuk menyediakan solusi unit pembangkit listrik di wilayah lokasi terpilih operasi OTEC yang paling potensial di wilayah Indonesia.

1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah dari thesis ini adalah:

- Lingkup penelitian yang dibahas sampai *concept design*.
- Tidak sampai membahas perhitungan konstruksi, kekuatan memanjang dan kekuatan melintang struktur *platform* maupun *riser*.
- Tidak membahas perhitungan sistem pembangkit listrik OTEC.
- Lokasi operasi OTEC dipilih Lokasi OTEC lepas pantai dengan jarak dari pantai lebih dari 10 km.
- Kondisi kedalaman tiap lokasi dianggap memiliki kedalaman 1000 m.
- Pemodelan OTEC *barge* menggunakan riser yang terbesar dari setiap lokasi OTEC.
- Analisis yang dilakukan pada *OTEC Barge* meliputi desain *barge*, perilaku gerak OTEC *barge* saat terapung bebas dan tertambat.
- Digunakan konfigurasi rantai jangkar yang digunakan OTEC *barge* berdasarkan kajian studi *OTEC barge 10 MW & 50 MW by Vega*.
- Jangkar dianggap tidak mengalami perpindahan atau kuat menahan gaya Tarik rantai jangkar.
- Kondisi dan fasilitas yang ada dianggap telah memenuhi.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari thesis ini adalah dapat dibuatnya konsep desain *Pilot OTEC Barge* yang berfungsi menghasilkan listrik di titik lokasi potensi OTEC terapung di wilayah Indonesia yang paling optimum.

BAB II. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)

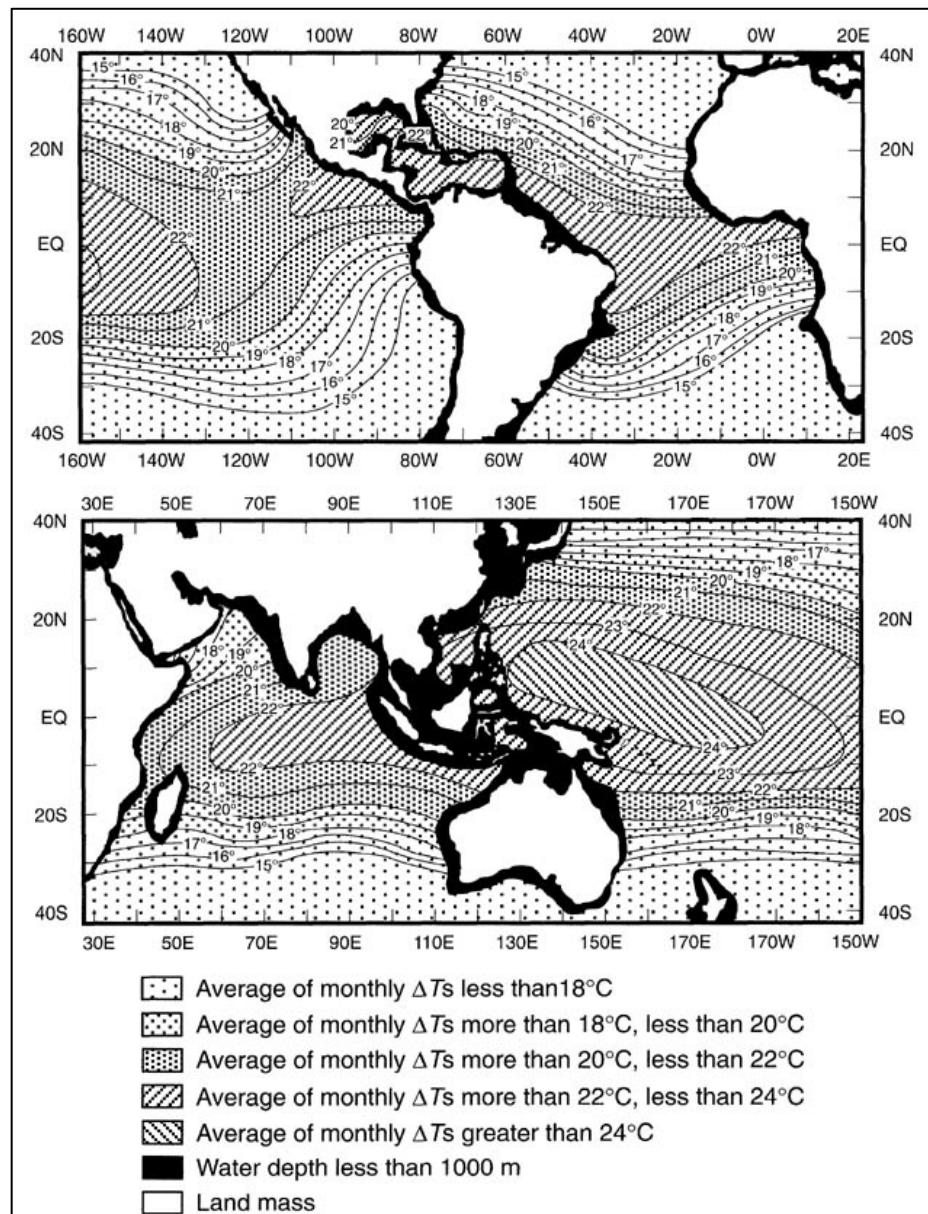
Sinar matahari yang terus menerangi laut saat siang hari diserap oleh air laut dari permukaan air laut sampai mencapai lapisan dengan kedalaman 35-100 m. Pada daerah perairan laut tropis antara 15° lintang utara dan 15° lintang selatan, panas sinar matahari yang diserap oleh lapisan laut dapat mencapai 28°C, hal tersebut terjadi secara konstan siang ke-malam dan bulan ke-bulan (William H. Avery, 1994).

Sementara itu semakin dalamnya kedalaman lapisan laut, keadaan suhu pada air laut semakin akan semakin dingin. Pada kedalaman lapisan laut mencapai 700 sampai 1000 m suhu air laut mencapai 5°C. Dengan kedalaman yang lebih dalam lagi perubahan suhu hanya akan turun beberapa derajat saja. Penurunan suhu air laut ini dikarenakan air dingin yang mengalir dari kutub memiliki massa jenis yang lebih berat sehingga air laut tersebut hanya mengarungi lautan dengan kedalaman yang dalam tanpa bercampur dengan air laut permukaan yang menyerap panas dari sinar matahari. Perbedaan temperatur antara air laut permukaan dengan air laut dalam yang dimaksud sebelumnya dapat mencapai suhu sebesar 27-29°C (William H. Avery, 1994).

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) atau dalam Bahasa adalah. Energi panas laut ini menggunakan perbedaan temperatur yang dihasilkan air laut permukaan dan lapisan air laut dalam untuk mengoperasikan mesin penukar panas untuk memproduksi tenaga listrik (William H. Avery, 1994). Konsep pembangkit tenaga listrik ini sudah lama telah di formulasikan dan pengembangannya terus dilakukan oleh dunia (Nihous, 2007).

Sebuah peta yang dibuat oleh Wolff untuk Departemen energi amerika Serikat menunjukan temperature air laut permukaan dan menunjukan kedalaman 1000 m yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 Peta tersebut memberikan informasi

bahwa perubahan temperature yang telah dijelaskan sebelumnya melebihi 22°C dan memiliki total luas sekitar 60 juta km^2 . Dengan daerah temperature yang tinggi, daerah tersebut cocok menjadi wilayah operasi OTEC (William H. Avery, 1994).



Gambar 2.1 Temperatur air laut untuk menjadi sumber tenaga OTEC (William H. Avery, 1994)

Energi panas laut merupakan salah satu energi terbarukan dengan menggunakan tenaga laut. Pembangkit listrik ini tentunya saja memiliki keuntungan dan kerugian dibandingkan dengan pembangkit listrik bertenaga laut

lainnya. Berikut dapat dilihat pada Tabel 2.1. Merupakan kelebihan dan kekurangan dari Pembangkit listrik OTEC.

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik *OTEC* (Mukhtasor, 2014)

Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit listrik OTEC		
No.	Kelebihan	Kekurangan
1	Potensi OTEC yang melimpah dapat menjadi salah satu solusi dari krisis energi yang terjadi karena penggunaan energi primer seperti minyak bumi dan bahan bakar fosil lainnya	Biaya perencanaan, desain dan pembangunan fasilitas OTEC sangat mahal. Hal tersebut membutuhkan investasi awal yang besar dan penantian pengembalian modal yang lama
2	OTEC bebas dari efek gas rumah kaca ke atmosfer	Pipa lebar dengan panjang ribuan kaki harus dipasang sehingga air dingin bisa diambil dari laut dalam tanpa bertambahnya suhu air dingin secara signifikan. Selain itu, biaya perawatan pipa tersebut juga mahal, akibat korosi dari air laut yang asin
3	OTEC juga tidak bergantung pada bahan baku yang digunakan atau limbah yang akan dihasilkan	Hewan laut kecil, seperti plankton dan alga, akan mudah tersedot dari permukaan laut menuju pipa. Hewan-hewan ini juga bisa menghalangi seluruh sistem dan menyebabkan kerusakan
4	OTEC dapat digunakan selama 24 jam sehari, 365 hari pertahun secara terus-menerus. Sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik secara konstan kecuali saat melakukan proses reparasi dan perawatan	Beberapa daerah yang berpotensi OTEC juga memiliki daerah yang mempunyai resiko badai tropis dan angin ribut.
5	Membutuhkan biaya perawatan paling sedikit dibanding dengan pembangkit listrik lainnya	
6	Pembangkit ini dapat menunjang untuk membuat produk lain seperti, produk kosmetik, air desalinasi, air pendingin	

2.1.1 Konsep Dasar Cara Kerja Pembangkit OTEC

Cara kerja dari pembangkit OTEC ini secara umum adalah air laut dengan suhu tinggi ditarik masuk ke dalam *evaporator* setelah sebelumnya air laut disaring untuk memastikan tidak ada kotoran yang masuk, kemudian air dengan suhu tinggi tersebut terkumpul di dalam *evaporator*, yang kemudian menguapkan fluida kerja (Amonia) secara kapiler, yang selanjutnya fluida kerja yang telah menguap tersebut bertugas menggerakkan turbin, yang dapat menghasilkan listrik, selanjutnya fluida kerja yang masih berbentuk uap yang telah melewati turbin didinginkan kembali agar kembali ke keadaan fluida untuk kembali dipanaskan dan kembali menggerakkan turbine pembangkit listrik (Vega, 2014).

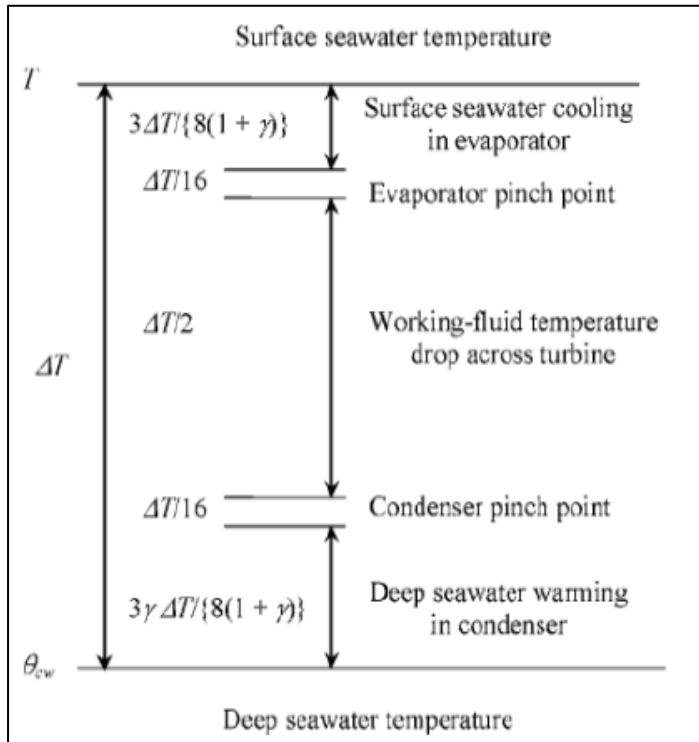
Dari energi panas yang dihasilkan inilah kemudian akan dimanfaatkan untuk memutar turbin di mana didalam sudu-sudu gerak dan sudu-sudu diam turbin, gas panas tersebut temperature dan tekanan mengalami penurunan dan proses ini biasa disebut dengan proses ekspansi. Selanjutnya energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin digunakan untuk memutar generator hingga menghasilkan energi listrik (Vega, 2014).

2.1.2 Estimasi Hasil Energi Panas Laut

Setelah mengetahui dari cara kerja sistem OTEC dan melakukan asumsi bahwa sistem kerja pada OTEC dianggap ideal maka untuk melakukan estimasi energi yang dihasilkan dari panas air permukaan adalah sebagai berikut (Nihous, 2007):

$$P = \left(\frac{\rho c Q}{T_h}\right)(\Delta T)^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Akan tetapi dalam keadaan nyata sistem OTEC mendistribusikan perbedaan temperatur antara air hangat permukaan dan air dingin kedalaman ke-semua komponen sistem OTEC. Maka dari itu telah dibuat suatu model sistem kerja OTEC oleh nihous untuk mendapatkan berapa nilai daya yang sesungguhnya didapatkan dari pembangkit listrik OTEC. Dapat dilihat pada Gambar 2.2 bahwa persamaan pendekatan melakukan set nilai temeperatur $\frac{\Delta T}{16}$ di evaporator maupun condenser.



Gambar 2.2 Ilustrasi perpindahan panas sistem OTEC.

Hal tersebut untuk menjaga pertukaran panas yang terjadi. Efisiensi termodinamika untuk OTEC dimodelkan menjadi $\epsilon_{tg}\Delta T/(2T)$ dimana T merupakan suhu air laut permukaan dan ϵ_{tg} merupakan nilai efisiensi turbin, nilai efisiensi turbin tertinggi mencapai 0.85. Nihous menggunakan laju aliran fluida air permukaan (Q_{ww}) sebagai referensi, akan tetapi Nihous memberikan pernyataan pendapat untuk menggunakan laju aliran dingin (Q_{cw}) untuk dijadikan referensi dikarenakan pengambilan air dingin yang lebih jauh dibandingkan air permukaan. Nilai dari Q_{ww}/Q_{cw} akan menjadi rasio untuk melihat fleksibilitas nilai operasional. Dengan model ilustrasi tersebut maka ditemukan nilai daya bruto atau P_{gross} (P_g) sebagai berikut (Nihous, 2007):

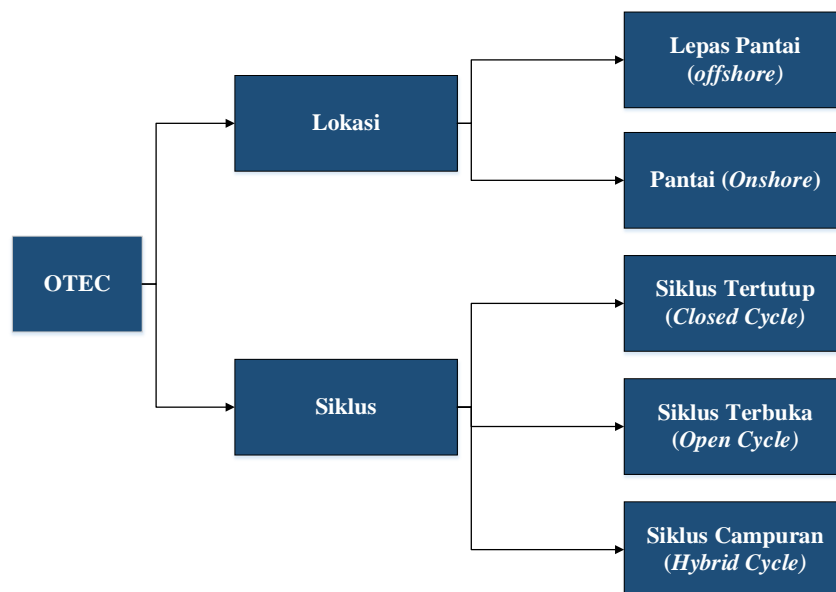
$$P_g = \frac{Q_{cw}\rho C_p 3\gamma\epsilon_{tg}}{16(1+\gamma)T} \Delta T^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana ρ merupakan massa jenis air laut dan C_p adalah spesifik panas air laut sebesar 4 KJ/KG K. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai daya netto, Nihous menjelaskan bahwa kebanyakan pembangkit listrik OTEC melakukan estimasi

konfigurasi desain terhadap penggunaan listrik untuk operasional pembangkit listrik OTEC itu sendiri sebesar 30% dari nilai P_g . Dengan menganggap nilai rasio Q_{ww}/Q_{cw} dianggap 2 dan menganggap hilangnya energi dikarenakan konsumsi daya untuk menggerakkan air laut yang besar ($18\% P_g$) dan akan membuat variasi nilai rasio, sehingga disesuaikan menjadi $0.12(\gamma/2)^{2.75}$ maka didapatkan besaran daya netto sebagai berikut (Nihous, 2007):

$$P_{net} = \frac{Q_{cw}\rho C_p \epsilon_{tg}}{8T_2} \left\{ \frac{3\gamma}{2(1+\gamma)} \Delta T^2 - 0.18 \Delta T_{design}^2 - 0.12 \left(\frac{\gamma}{2} \right)^{2.75} \Delta T_{design}^2 \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.2. Jenis-Jenis Pembangkit Listrik OTEC



Gambar 2.3 Kategori Pembangkit Listrik OTEC

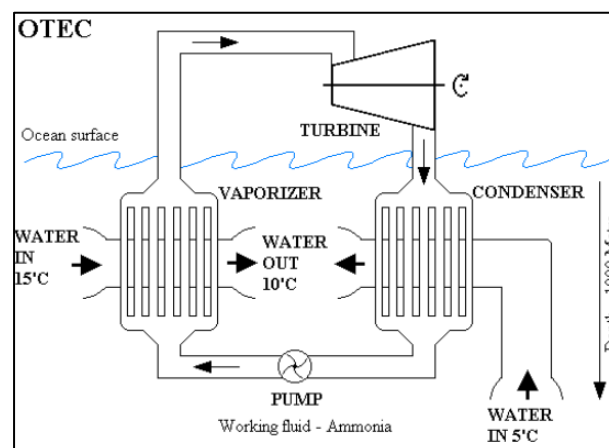
Pembangkit listrik memiliki beberapa jenis berdasarkan lokasi operasi dan siklus rankine yang digunakan, seperti yang dilihat pada pembagian di Gambar 2.3. Pemilihan OTEC berdasarkan lokasi operasi dilakukan dengan melihat kondisi titik lokasi potensi OTEC yang akan digunakan, contohnya jika titik lokasi potensi

OTEC jauh dari garis pantai maka yang dipilih adalah OTEC lepas pantai (*offshore*), begitu juga sebaliknya (Ruud Kempener, Frank Neumann, 2014).

Setiap siklus OTEC memiliki kekhasan baik dari segi produk yang dihasilkan, efisiensi proses, komponen alat-alat yang digunakan dan lain-lain. Berbagai penelitian dan pengembangan pada masing masing siklus sampai saat in masih dilakukan (Mukhtasor, 2014)

2.3.1 Berdasarkan Siklus OTEC

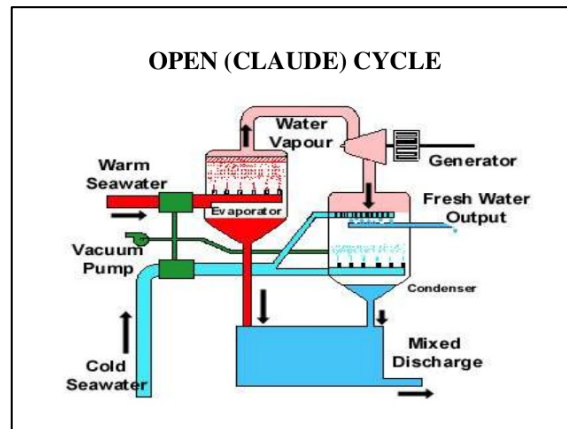
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya terdapat tiga macam siklus yang dapat digunakan untuk memproduksi listrik pada pembangkit listrik OTEC. Pertama adalah siklus tertutup, kedua adalah siklus terbuka, ketiga adalah siklus campuran.



Gambar 2.4 Siklus tertutup (*closed cycle*) OTEC (IRENA)

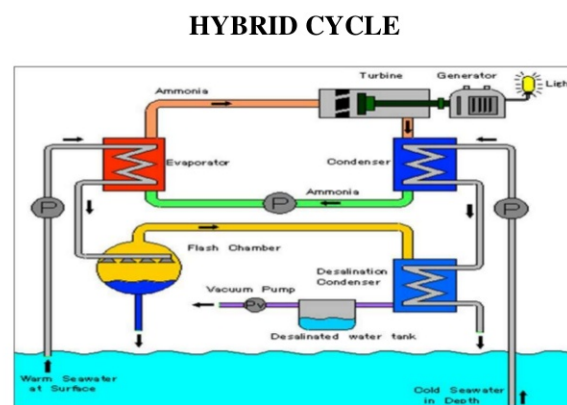
Siklus tertutup (*closed cycle*) merupakan siklus yang sering digunakan, karena biaya produksi yang lebih murah (Muralidharan, 2012). Siklus ini menggunakan fluida dengan titik didih rendah, misalnya amonia, untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik. Air hangat di permukaan dipompa ke penukar panas di mana fluida bertitik didih rendah dididihkan. Fluida yang mengalami perubahan wujud menjadi uap akan mengalami peningkatan tekanan. Uap bertekanan tinggi ini lalu dialirkan ke turbin untuk menghasilkan listrik. Uap tersebut lalu didinginkan kembali dengan air dingin dari laut dalam dan

mengembun (Ruud Kempener, Frank Neumann, 2014). Lalu fluida kembali melakukan siklusnya, seperti yang bisa terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Siklus terbuka (*open cycle*) OTEC (IRINA)

Siklus terbuka (*Open-Cycle*) OTEC dapat dilihat pada Gambar 2.5 menggunakan air laut permukaan yang hangat untuk membangkitkan listrik. Ketika air laut hangat dipompakan ke dalam kontainer bertekanan rendah, air ini mendidih. Uap yang mengembang menggerakkan turbin tekanan rendah untuk membangkitkan listrik. Uap ini, meninggalkan garam-garam di belakang kontainer. Jadi uap ini hampir merupakan air murni. Uap ini kemudian dikondensasikan kembali dengan menggunakan suhu dingin dari air dasar laut (Ruud Kempener, Frank Neumann, 2014).



Gambar 2 6 Siklus campuran (*hybrid cycle*) OTEC (IRINA)

Siklus campuran pada Gambar 2 6 menggunakan keunggulan sistem siklus terbuka dan tertutup. Siklus hybrid menggunakan air laut yang diletakkan di tangki bertekanan rendah (*vacuum chamber*) untuk dijaikan uap. Lalu uap tersebut

digunakan untuk menguapkan fluida bertitik didih rendah (amonia atau yang lainnya) yang akan menggerakkan turbin guna menghasilkan listrik. Uap air laut tersebut lalu dikondensasikan untuk menghasilkan air tawar desalinasi (Ruud Kempener, Frank Neumann, 2014).

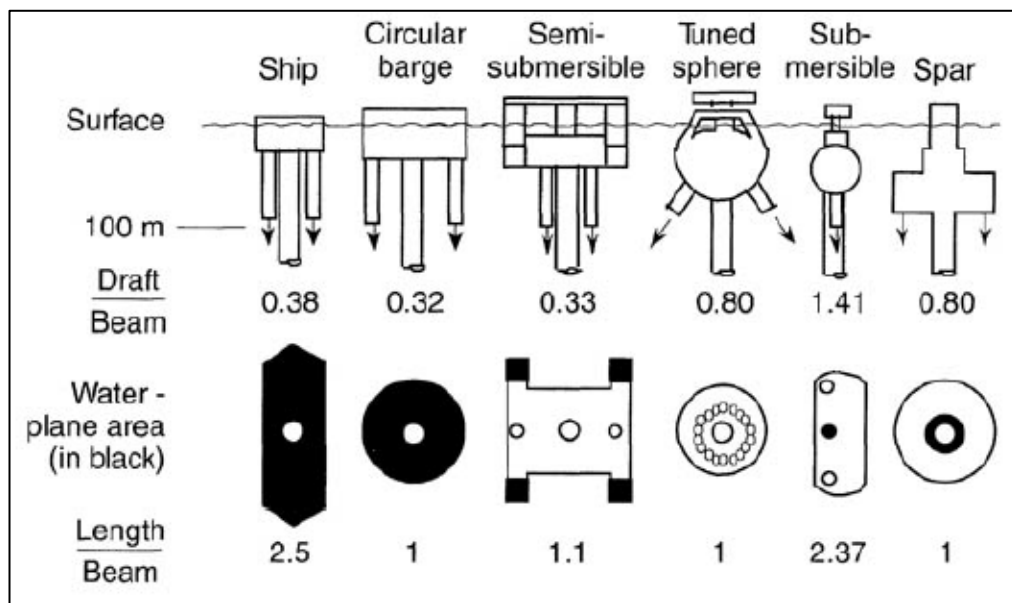
2.3.2. Berdasarkan Letak Pembangkit Listrik OTEC Beroperasi

Secara umum pembangkit listrik OTEC dapat ditempatkan di pinggir pantai (onshore) atau di tengah laut (*offshore*). OTEC floating atau pembangkit listrik energi panas laut terapung yang dipasang di tengah laut (*offshore*), pembangkit listrik ini diletakkan di atas sebuah platform sehingga menjadi sebuah pembangkit listrik yang dapat berpindah-pindah seperti yang dilihat pada Gambar 2 7. Keuntungan dari OTEC offshore structure adalah sebagai berikut (G. C. Nihous & L. A. Vega, 1993):

1. Tidak membutuhkan lahan tanah untuk membangun pembangkit listrik
2. Tidak memerlukan pipa pengambilan air dingin yang panjang
3. Dapat menjangkau titik lokasi potensi OTEC yang jauh dari pantai
4. Aset investasi yang dapat berpindah-pindah
5. Dapat menggunakan platform hasil konversi bangunan laut



Gambar 2 7 Dari sebelah kiri adalah MINI-OTEC , NEMO, NIOT (*oteci.com , dcns.com, marinebuzz.com*)



Gambar 2 8 Pilihan alternatif platform OTEC terapung (William H. Avery, 1994)

Dapat dilihat pada Gambar 2 8 merupakan studi parametrik terhadap enam konsep platform OTEC terapung dengan daya 50 sampai 500 MW dilakukan oleh *Department of Energy* Amerika Serikat tahun 1977-1978, enam konsep tersebut adalah sebagai berikut (William H. Avery, 1994):

1. Kapal atau tongkang (*barge*)
2. *Cylindrical platform*
3. *Semi-submersible*
4. *Spar*
5. *Submersible*
6. *Shpere*

Tabel 2 2 Perbandingan teknologi platform OTEC *barge* (Nancy E. Kinner, 2009)

Tipe Platform	Motion/ survivability risk	Kesulitan pemasangan	Biaya	Kesiapan Teknologi
Semi Submersible	Kecil	Sedang	Sedang	tinggi
Spar	Kecil	Tinggi	Tinggi	Sedang
Ship shape/monohull	Sedang	Rendah	Rendah	Tinggi

Dari hasil kajian studi tersebut dengan melakukan evaluasi terhadap studi kelayakan teknis, kemudahan akses komponen, biaya dan perawatan ditemukan bahwa tipe nomor 1, 3 dan 4 dianggap sebagai kandidat platform OTEC terapung yang paling menarik (William H. Avery, 1994).

Selanjutnya Nancy E menjelaskan bahwa dari ketiga tipe platform yang telah diteliti memiliki keunggulan dan kelemahannya masing-masing. Seperti yang dilihat pada Tabel 2.2 bahwa tipe platform berbentuk kapal memiliki keunggulan yang lebih dominan dibanding platform lainnya. Hal ini dilihat dari biaya platform yang rendah, kesiapan teknologi yang tinggi dan kesulitan pemasangan yang rendah dibandingkan platform lainnya.

Seperti yang dilihat pada Gambar 2.9 pembangunan di pinggir pantai (*onshore*) dapat dilakukan jika lokasi potensial OTEC dekat dengan garis pantai. Contohnya lokasi tersebut biasanya dekat dengan kondisi geometri laut yang memiliki palung laut atau topografi dasar laut yang curam. Berikut ini merupakan keuntungan dari OTEC *onshore* (Mukhtasor, 2014):

1. Proses perawatan prmbangkit listrik dapat dilakukan dengan mudah
2. Dibutuhkannya pipa pengambilan air laut dingin yang panjang dan lebar untuk
3. Menghasilkan produk lainnya berupa, air desalinasi, air dingin kaya nutrisi dan produk kosmetik



Gambar 2.9. OTEC MAKAI dan OTEC OKINAWA (Makai.com dan OTECokinawa.com).

2.3. Lokasi Potensi OTEC di Indonesia

Melihat kondisi letak geografis Indonesia yang berada tepat di titik khatulistiwa sehingga memiliki kondisi cuaca yang cukup panas dan tidak memiliki banyak perubahan musim memungkinkan Indonesia memiliki banyak titik lokasi potensi pemberdayaan energi panas laut (OTEC). Selain melihat suhu permukaan laut, suhu air dingin untuk OTEC yang didapatkan dikedalaman lebih dari 700 m juga menjadi salah satu faktor penentu titik lokasi potensi OTEC. Geomorfologi lautan dari negara-negara kepulauan terutama Indonesia umumnya memiliki karakteristik landas kontinen yang curam, sehingga jarak antara pantai dengan laut dalam tidak terlalu jauh (Mukhtasor, 2014).

Tabel 2 3 Lokasi potensi OTEC lepas pantai di Indonesia (Mukhtasor, 2014)

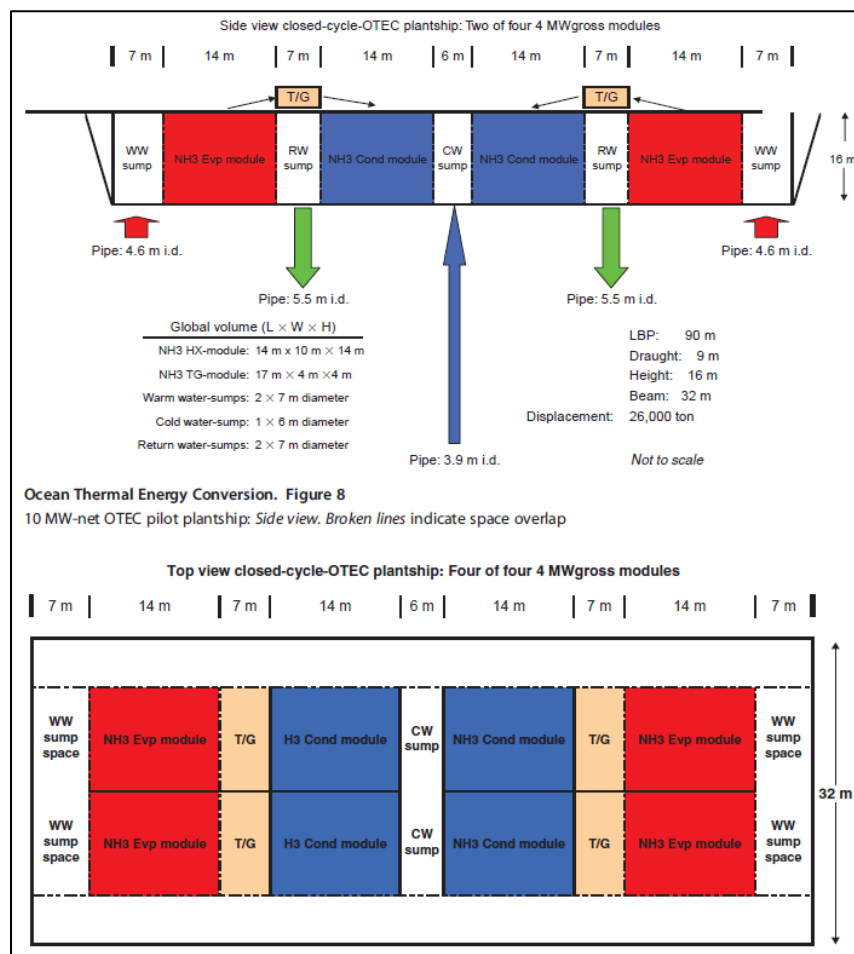
No.	Lokasi	Beda Temperatur (°C)	Kordinat		Jarak ke Pantai (Km)
			Garis Bujur	Garis Lintang	
1	Laut Flores, Bali-Bima	22	115.747	-7.34895	10-30
2	Samudera Hindia, Timor	23	105.178	-6.8776	10-20
3	Banda	22	130.07	-3.54252	>30
4	L. Banda, Bandaneira	23	122.717	-5.85696	>30
5	Selat Makassar, Majene	21	119.452	-0.723	10-20
6	P. Talaud	23	126.639	4.571	10-20

Dapat dilihat pada Tabel 2 3 merupakan data lokasi potensi OTEC di Indonesia dengan jarak dari pantai 10-30 km. Penentuan lokasi potensi OTEC ini dilakukan dengan pengambilan data panas laut dengan menggunakan CTD (*conductivity temperature depth*), yaitu merupakan suatu instrument yang digunakan untuk mengukur karakteristik suhu, salinitas, tekanan, kedalaman dan densitas. Badan Pengajian dan Penerapan Teknologi Indonesia (BPPT) dan beberapa instasi kelautan lainnya telah melakukan pengukutan profil CTD secara vertical di berbagai area lautan di Indonesia. Data profil temperatur air laut yang diperoleh BPPT menunjukan untuk daerah OTEC lepas pantai yang dapat dilihat Tabel 2 3 tidak memiliki perubahan kenaikan suhu kembali dan terus menurun kurang dari 5°C pada kedalaman lebih dari 700 m (Mukhtasor, 2014).

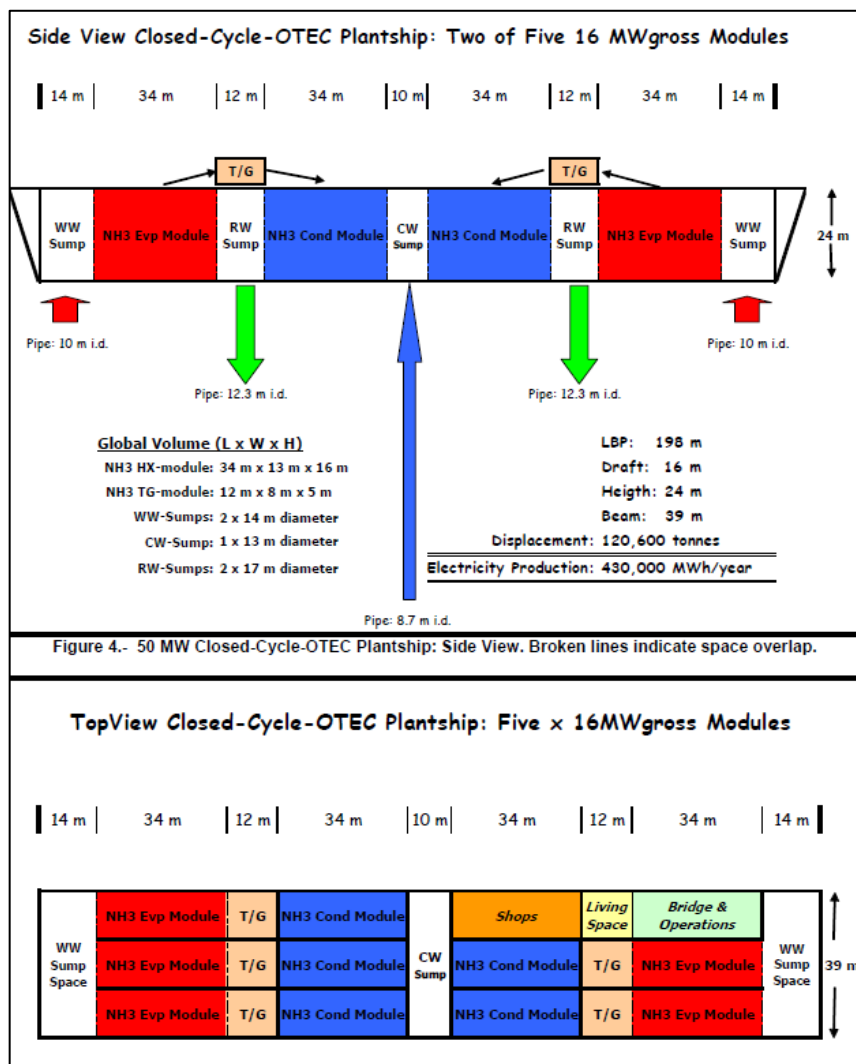
2.4. OTEC Barge

Ada beberapa tantangan yang terkait dengan penggunaan teknologi platform yang tersedia saat ini untuk aplikasi OTEC. Pengaruh utama dalam menentukan biaya utama untuk platform adalah ukuran dan kemampuan beradaptasi dengan aplikasi OTEC. Platform perlu menyediakan sejumlah peralatan yang signifikan untuk aplikasi OTEC, dan platform yang lebih besar secara signifikan meningkatkan biaya dan kesulitan fabrikasi. (Nancy E. Kinner, 2009).

Dikarenakan teknologi dan kesiapan platform seperti *barge* yang sudah mapan maka banyak pengembangan yang telah dilakukan terhadap OTEC dengan menggunakan platform *barge*. Salah satunya adalah OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan OTEC *barge* 50 MW yang didesain oleh Vega.



Gambar 2 10 Desain OTEC *barge* 10 MW Vega (Vega, 2012)



Gambar 2 11 OTEC barge 50 MW Vega (Vega, 2010)

Dalam desainnya Vega menjelaskan bahwa pentingnya melakukan perencanaan penggunaan ruangan *barge* untuk digunakan oleh sistem yang dibutuhkan oleh OTEC. Pada Gambar 2 10 dan Gambar 2 11 merupakan hasil perencanaan penggunaan ruangan untuk *heat exchanger* oleh Vega, pada kedua desain tersebut Vega membagi 5 tempat tangki air laut, yaitu dua tangka air laut permukaan (*warm water sump space*), dua tangki air laut campuran (*RWsump*) dan air laut dingin (*cold water sump space*). Ke-lima tangki ini masing masing memiliki pipa air laut (*riser*) yang menghantarkan air laut pada kedalaman yang sesuai dengan suhu air laut yang ingin diambil. Air laut permukaan diambil dengan pipa air laut dengan kedalaman 20 m dan air laut campuran yang dikeluarkan pada kedalaman 60 m. Sedangkan air laut dingin diambil dengan kedalaman 1000 m.

2.5.1 Kriteria Desain *OTEC Barge*

Kriteria penting dalam melakukan desain *OTEC barge* adalah sebagai berikut (William H. Avery, 1994):

1. Membutuhkan volume yang besar sepanjang garis *centerline* dari *barge* untuk mengakomodasi alat *heat exchanger*, Pipa air laut dan penampungan air laut dingin
2. Memperhitungkan adanya beban lekukan dan memungkinkan mengubah beban putaran yang terjadi pindah ke bagian sisi struktur
3. Integrasi yang efisien dari semua subsistem *OTEC* diperlukan, terutama subsistem CWP, pembangkit listrik, dan subsistem pengiriman energi, untuk mencapai desain struktural yang optimal dengan biaya minimal.

Kapal tongkang atau (*barge*) yang beroperasi pada perairan dalam tidak memiliki karakteristik atau kriteria yang berbeda dengan kapal atau tongkang pada umumnya yang beroperasi di berbagai kondisi perairan. Salah satunya adalah ketinggian dari sarat *barge* yang kecil karena dibatasi oleh kedalaman perairan yang kecil. Namun disisi lain *barge* tetap dituntut untuk dapat mengangkut muatan yang besar (William H. Avery, 1994).

2.5.2 Stabilitas *Barge*

Tiga syarat utama dari sebuah kapal bisa dikatakan baik adalah kapal yang memiliki kekuatan, stabilitas dan mobilitas yang baik (manning, 1968). Jadi setiap kapal yang dibangun harus memperhatikan aspek stabilitas secara mendalam. Keseimbangan statis berhubungan dengan gaya statis yang terjadi pada kapal. Sementara dalam arti yang luas keseimbangan adalah gaya secara keseluruhan, di mana tidak melibatkan percepatan atau perlambatan, sehingga bisa dikatakan bahwa benda yang diam memiliki keseimbangan statis. Jika benda tersebut diganggu oleh gaya yang berasal dari luar, kemudian benda tersebut bergerak dari posisi awalnya, dan kembali pada posisi awal jika gaya luar tersebut dihilangkan, maka benda tersebut bisa disebut memiliki stabilitas yang baik.

Hal ini juga berlaku pada kapal yang mengalami kemiringan karena gaya ombak dan bisa kembali ke posisi tegak, maka kapal tersebut bisa dikatakan memiliki stabilitas yang baik.

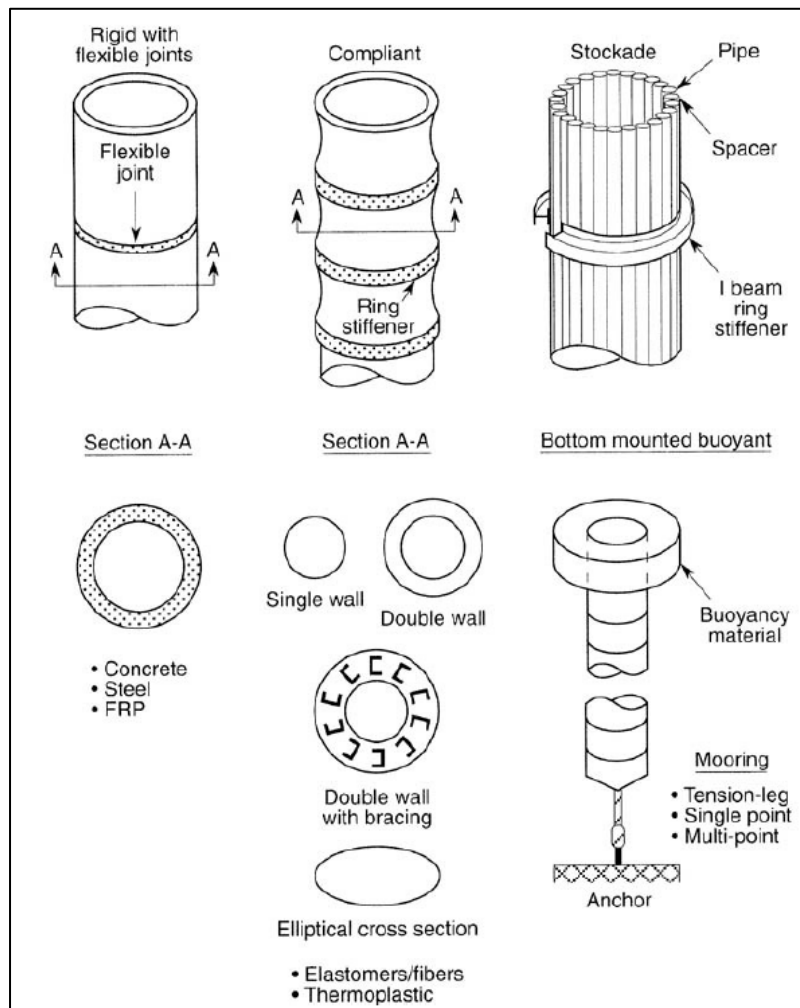
Dilain pihak, jika suatu benda dikenai gaya dari luar dan terus bergerak tanpa bisa kembali ke posisi awal maka bisa dikatakan bahwa benda tersebut memiliki keseimbangan yang tidak stabil. Begitu juga dengan kapal yang tidak stabil, kapal akan miring karena diakibatkan sedikit gaya dari luar dan kapal terus mengalami kemiringan tanpa bisa tegak bahkan terbalik. Kapal yang memiliki keseimbangan awal yang tidak stabil biasanya akan miring sampai pada titik keseimbangan kapal tersebut karena perubahan bentuk badan kapal di bawah air (Taggart, 1980).

2.5. Pipa Air Laut (*Riser*) OTEC

Pembangkit listrik OTEC terapung komersil dapat menghasilkan daya netto sebesar 100 sampai 350 MW. Hal ini tentunya mengimplikasikan kebutuhan pipa air laut salah satunya pipa air dingin laut dalam dengan diameter mencapai 20 m atau lebih, jika satu pipa air laut dingin digunakan pada satu pembangkit listrik OTEC terapung (William H. Avery, 1994).

Desain dari pipa air dingin ini tentunya memnutuhkan kekuatan struktur yang cukup untuk menahan segala beban yang terjadi pada pipa saat operasi. Pipa air dingin juga harus memiliki nilai kelayakan ekonomi yang baik dalam proses konstruksi dan pemasangan pipa air dingin. Dapat dilihat pada Gambar 2.12 berbagai macam material dikonsiderasi cocok untuk menjadi bahan material pipa air dingin OTEC. Kebutuhan struktur pada pipa air dingin secara utama adalah dapat menahan *buckling* yang terjadi karena tekanan dari dalam pipa atau dikarenakan adanya gaya drag dari luar pipa. (William H. Avery, 1994).

Riser juga memberi dampak besar terhadap pergerakan respon struktur platform, maka dari itu diperlukan konsiderasi pernting terhadap daya apung, berat dan luasan permukaan pipa. Pada desain OTEC *barge 10 MW* menjelaskan bahwa *riser* sering memberi dampak besar pada gerakan *roll* dan *pitch*.

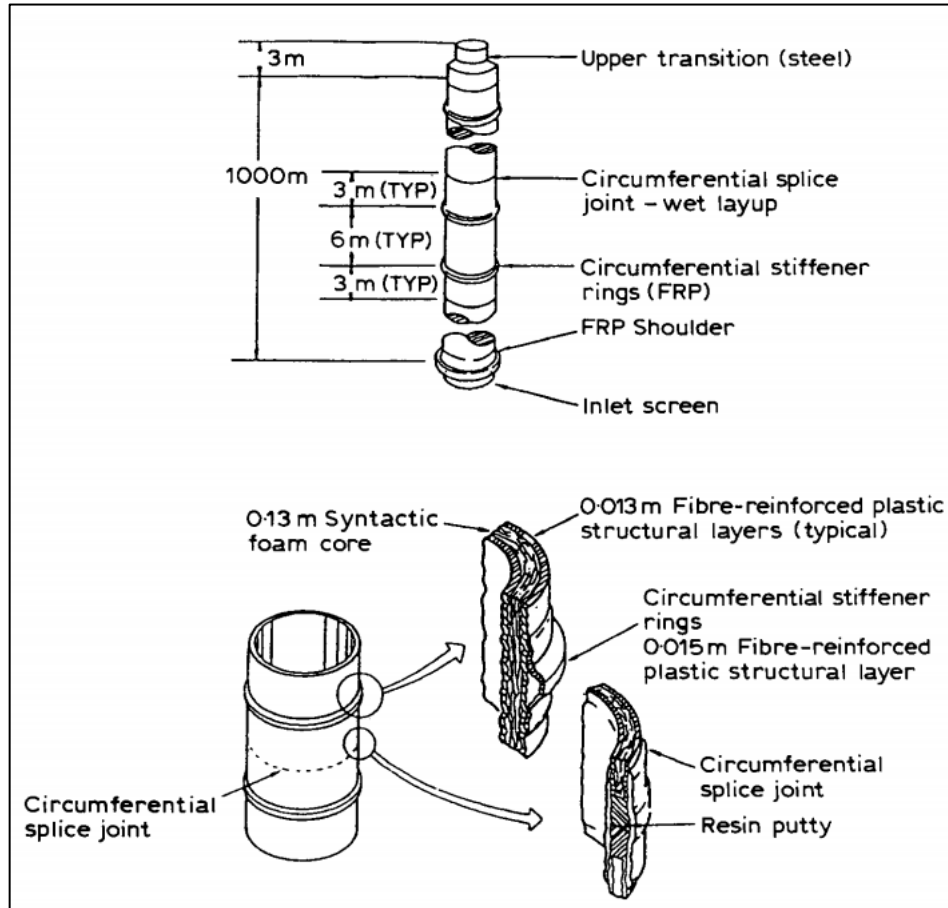


Gambar 2.12 Berbagai pilihan konsep desain struktur pipa air dingin OTEC (William H. Avery, 1994)

Pada Gambar 2.13 merupakan salah satu contoh studi desain OTEC *floating plant* 100 MW yang dilakukan oleh Nihous dan Vega menggunakan bahan *fiber reinforced polymer* sebagai bahan pipanya. Seperti yang dapat dilihat pada Nihous dan Vega menjelaskan konfigurasi pipa yang dimilikinya memiliki 3 lapisan yang terdiri dari laminasi FRP pada bagian lapisan luar dengan diameter 0.015 m dan dilanjutkan dengan lapisan kedua yaitu *syntactic core* dengan diameter 0.013 m dan selanjutnya diberikan laminasi FRP lagi berukuran 0.015 m. (G. C. Nihous & L. A. Vega, 1993).

Contoh studi desain lainnya yaitu OTEC terapung 10 MW juga menggunakan FRP sebagai bahan material pipanya. Dengan menggunakan konfigurasi lapisan yang sama dengan penjelasan massa jenis yang dimiliki lapisan

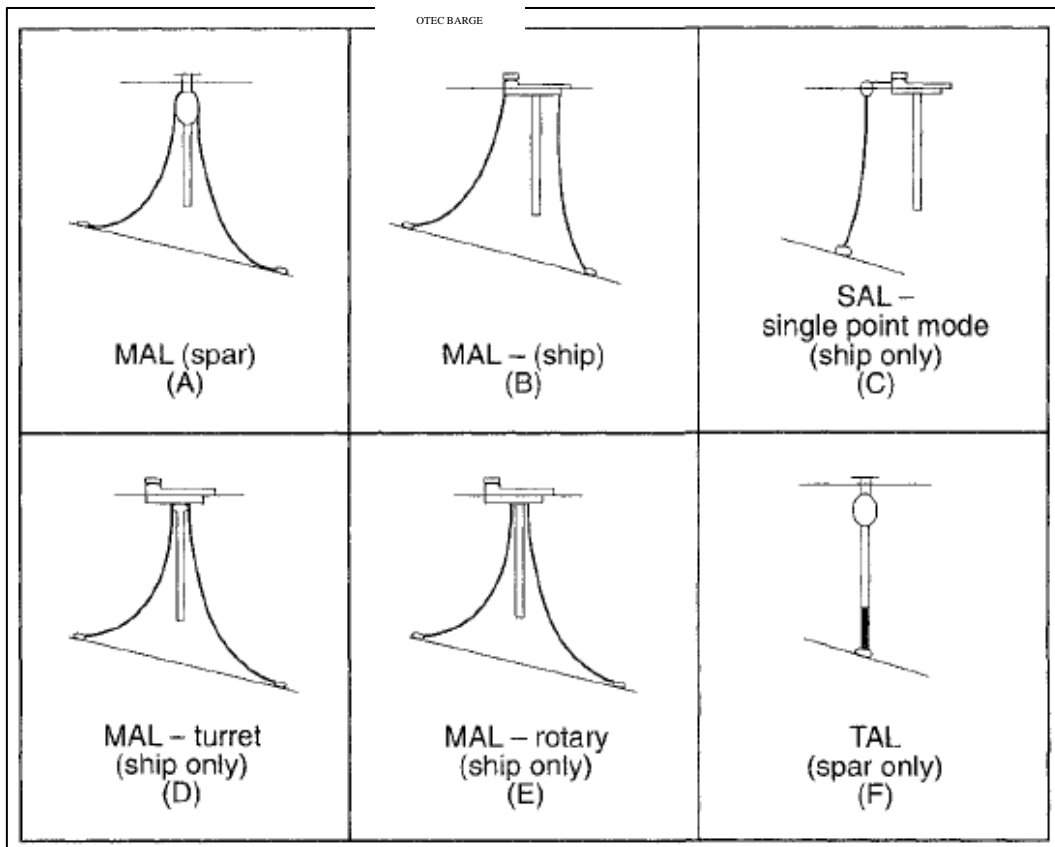
laminasi sebesar $1,714 \text{ kg/m}^3$ dan masa jenis *core* sebesar 670 kg/m^3 (Vega, 2012).



Gambar 2.13 Konfigurasi pipa air dingin OTEC 100 MW (G. C. Nihous & L. A. Vega, 1993)

2.6. Sistem Penambatan (*Mooring System*) OTEC Barge

Penambatan digunakan untuk membuat kapal berada tetap pada posisi tertentu. Untuk menambatkan suatu kapal, dibutuhkan tali tambat atau *mooring line/hawser* dan bollard yang menjadi tumpuan dari tambatan tersebut. Terdapat berbagai jenis sistem tambat atau yang dikenal sebagai *mooring system* yang umum digunakan dalam bidang kelautan. Pada kasus kali ini sistem tambat yang digunakan merupakan sistem tambat *spread mooring* dengan *double joint* gimbal line.



Gambar 2.14 Skema sistem tambat (R. Magesh, 2010)

Gambar 2.14 menjelaskan bahwa terdapat beberapa alternatif pilihan sistem tambat yang digunakan pada OTEC barge. Kebanyakan dari sistem tersebut menggunakan sistem tambat *spread mooring*.

Spread mooring sendiri merupakan metode tambat dengan cara tali tambat menyebar dari berbagai sisi kapal, pada system tambat jenis ini kapal tidak memungkinkan melakukan gerakan memutar dikarenakan di beberapa sisi kapal telah dilakukan penambatan dengan *mooring line*.

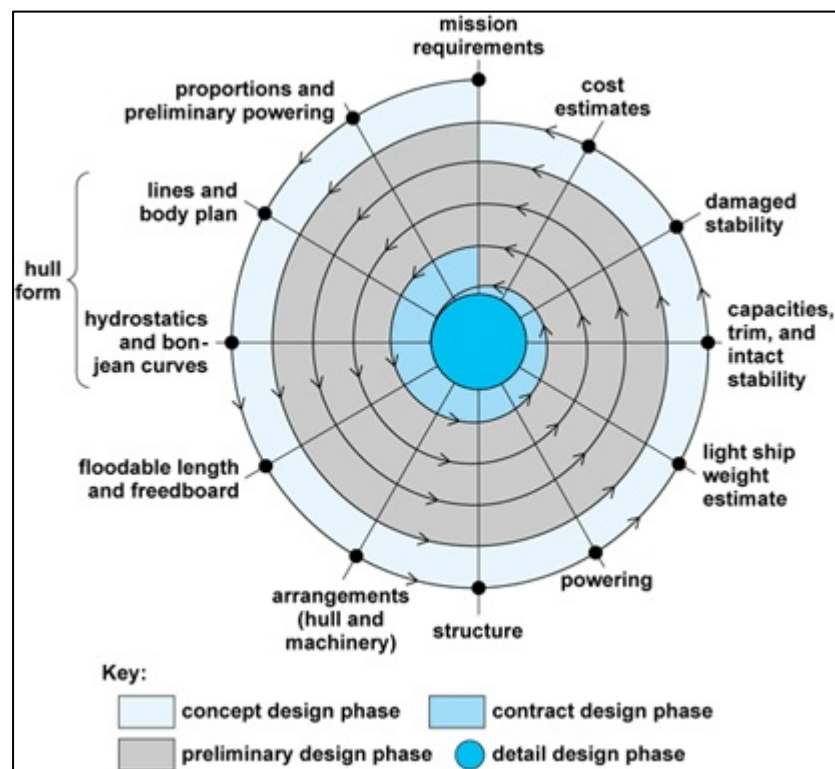
Sementara itu untuk mengurangi tegangan mooring line pada sistem *spread mooring* digunakan *bouy* atau pelampung sebagai pereduksi tegangan dari mooring line pada sistem *spread mooring* tersebut, paling tidak diletakan satu *bouy* sebagai pereduksi tegangan di sepanjang *mooring line*. *Mooring line* yang digunakan untuk *spread mooring* kali ini merupakan kombinasi dari chain dan wire, dimana chain digunakan sebagai mooring line yang berfungsi untuk tambatan di dasar laut yang

kemudian dihubungkan dengan *wire* yang berfungsi langsung menambatkan kapal. Pada kasus kali ini mooring line juga digunakan sebagai penambat pipa.

2.7. Konsep Desain

Pada umumnya proses desain dan pembangunan kapal menggunakan metode spiral desain, atau inovasi terhadap sebuah desain kapal yang sudah ada sebelumnya, dengan melakukan rekayasa desain untuk mendapatkan desain yang lebih optimal, skema desain terbut dapat dilihat pada Gambar 2.15. Berikut adalah uraian tahapan-tahapan perancangan sebuah kapal [Principle of Naval Architecture Vol.I].

Konsep desain kapal merupakan tahap lanjutan setelah adanya *Owner design requirement* dimana konsep desain juga merupakan basic design dalam proses perancangan kapal. Konsep desain kapal adalah tugas atau misi desainer untuk mendefinisikan sebuah objek untuk memenuhi persyaratan misi dan mematuhi seperangkat kendala



Gambar 2.15 Diagram desain spiral (Watson, 1998)

Konsep bisa dibuat dengan menggunakan rumus pendekatan, kurva ataupun pengalaman untuk membuat perkiraan-perkiraan awal yang bertujuan untuk mendapatkan estimasi biaya konstruksi, biaya permesinan kapal dan biaya peralatan serta perlengkapan kapal. Hasil dari tahapan konsep desain ini biasanya berupa gambar atau sketsa secara umum, baik sebagian ataupun secara lengkap.

2.8. Metode Konsep Desain *OTEC Platform (Barge)*

Setelah melakukan konsep desain di atas, langkah selanjutnya dalam proses desain *OTEC barge* dalam menentukan metode perancangannya akan disamakan dengan hakikat metode perancangan kapal. Secara umum metode dalam perancangan kapal adalah sebagai berikut (Taggart, 1980):

2.6.1 Parent Design Approach

Parent design approach merupakan salah satu metode dalam mendesain kapal dengan cara perbandingan atau komparasi, yaitu dengan cara menganbil sebuah kapal yang dijadikan sebagai acuan kapal pembanding yang memiliki karakteristik yang sama dengan kapal yang akan dirancang. Dalam hal ini designer sudah mempunyai referensi kapal yang sama dengan kapal yang akan dirancang, dan terbukti mempunyai performance yang bagus. Keuntungan dalam *parent design approach* adalah:

1. Dapat mendesain kapal lebih cepat, karena sudah ada acuan kapal sehingga tinggal memodifikasi saja.
2. Performance kapal terbukti (*stability, motion, resistance*)

2.6.2 Trend Curve Approach

Dalam proses perancangan kapal terdapat beberapa metode salah satunya yaitu *Trend Curve approach* atau biasanya disebut dengan metode statistik dengan memakai regresi dari beberapa kapal pembanding untuk menentukan main

dimension. Dalam metode ini ukuran beberapa kapal pembanding dikomparasi dimana variabel dihubungkan kemudian ditarik suatu rumusan yang berlaku terhadap kapal yang akan dirancang.

2.6.3 Iteratif Design Approach

Iteratif desain adalah sebuah metodologi desain kapal yang berdasarkan pada proses siklus dari *prototyping*, *testing*, dan *analyzing*.. Perubahan dan perbaikan akan dilakukan berdasarkan hasil pengujian iterasi terbaru sebuah desain. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan fungsionalitas dari sebuah desain yang sudah ada. Proses desain kapal memiliki sifat iteratif yang paling umum digambarkan oleh spiral desain yang mencerminkan desain metodologi dan strategi. Biasanya metode ini digunakan pada orang-orang tertentu saja (sudah berpengalaman dengan menggunakan *knowledge*).

2.6.4 Parametric Design Approach

Parametric design approach adalah metode yang digunakan dalam mendesain kapal dengan parameter misalnya (L, B, T, Cb, LCB dll.) sebagai main dimension yang merupakan hasil regresi dari beberapa kapal pembanding, kemudian dihitung hambatannya (R_t), merancang baling-baling, perhitungan perkiraan daya motor induk, perhitungan jumlah ABK, perhitungan titik berat, trim, dan lain-lain.

2.6.5 Optimization Design Approach

Metode optimasi digunakan untuk menentukan ukuran utama kapal yang optimum serta kebutuhan daya motor penggeraknya pada tahap *basic design*. Dalam hal ini, disain yang optimum dicari dengan menemukan disain yang akan meminimalkan *economic cost*. Adapun parameter dari optimasi ini adalah hukum fisika, kapasitas ruang muat, stabilitas, freeboard, trim, dan harga kapal.

2.9. Tinjauan Teknis Perancangan OTEC *Barge*

2.8.1 Penentuan Ukuran Utama Dasar

Dalam proses perancangan kapal terdapat langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ukuran utama kapal yang dirancang berdasarkan kapal-kapal pembanding. Langkah-langkah ini berlaku pada umumnya untuk berbagai tipe kapal. Ukuran utama yang dicari harus sesuai dengan jenis kapal yang telah ditentukan. Adapun ukuran-ukuran yang perlu diperhatikan sebagai kapal pembanding adalah (Taggart, 1980):

- a. Lpp (*Length between Perpendicular*)
Panjang yang diukur antara dua garis tegak yaitu, jarak horizontal antara garis tegak buritan (*After Perpendicular/AP*) dan garis tegak haluan (*Fore Perpendicular/FP*).
- b. LOA (*Length Overall*)
Panjang seluruhnya, yaitu jarak horizontal yang diukur dari titik terluar depan sampai titik terluar belakang kapal.
- c. Bm (*Moulded Breadth*)
Lebar terbesar diukur pada bidang tengah kapal diantara dua sisi dalam kulit kapal untuk kapal-kapal baja. Untuk kapal yang terbuat dari kayu atau bukan logam lainnya, diukur antara dua sisi terluar kulit kapal.
- d. H (*Height*)
Jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal, dari atas lunas sampai titik atas balok geladak sisi kapal.
- e. T (*Draught*)
Jarak yang diukur dari sisi atas lunas sampai ke permukaan air.

2.8.2 Koefisien Utama Kapal

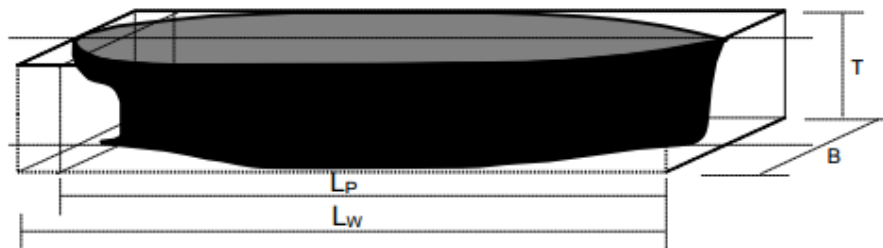
Perhitungan koefisien utama kapal bisa dilakukan dengan menggunakan harga dari angka Froude yang telah didapatkan berdasarkan ukuran utama yang telah disusun sebelumnya. Adapun koefisien utama kapal yang dimaksud antara lain C_b , C_m , C_{wp} , LCB, C_p , Volume Displacement (∇) dan Displacement (Δ).

Dapat dilihat pada Gambar 2.16 merupakan pemebrian definisi terhadap unit unit dimensi yang digunakan untuk rumus pendekatan perhitungan koefisien pada kapal. Berbagai macam pendekatan ruanganBerikut ini penjelasan koefisien-koefisien tersebut dan rumus-rumus yang dipakai untuk menghitung koefisien utama kapal tersebut:

1. C_b (koefisien blok)

Koefisien blok adalah harga perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup dalam air dengan balok yang melingkupi badan kapal yaang tercelup tersebut (Tim kurikulum SMK Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, 2003). Rumus Perhitungan dapat menggunakan rumus (Watson, 1998).

$$C_b = -4.22 + 27.8\sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3 \text{ untuk } 0.15 \leq Fn \leq 0.32 \dots (2.4)$$



Gambar 2.16 Volume Bagian Tercelup Dilingkupi Balok (Konsep dasar Perkapalan).

2. C_m (*Midship Coefficient*)

C_m biasa disebut sebagai koefisien gading besar adalah harga perbandingan antara luas bidang tengah kapal yang tercelup dalam air dengan segi empat yang mengelilinginya. (Tim kurikulum SMK Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, 2003). Rumus Perhitungan dapat menggunakan rumus (Watson, 1998).

$$C_m = 0.977 + 0.085(C_b - 0.6) \quad (2.5)$$

3. C_{wp} (Koefisien Bidang Garis Air)

C_{wp} adalah harga perbandingan antara luas bidang permukaan air pada saat kapal muatan penuh dengan segiempat yang melingkupinya. Rumus Perhitungan dapat menggunakan rumus (Watson, 1998).

$$C_{wp} = 0.180 + 0.860 C_p \quad (2.6)$$

4. C_p (Koefisien Prismatic)

Harga perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup dalam air dengan prisma yang dibentuk dari Luas Gading Besar kali panjang kapal. Rumus Perhitungan dapat menggunakan rumus (Watson, 1998).

$$C_p = C_b / C_m \quad (2.7)$$

5. **LCB (*Longitudinal Center of Bouyancy*), *Displacement***

LCB merupakan titik gaya apung kapal secara memanjang.

$$LCB = (8.80 - 38.9 F_n) + L/2 \quad (\%) \quad (2.8)$$

$$Volume \ Displacement \ (\nabla), \ \nabla = LBT \cdot C_b$$

$$Displacement \ (\Delta), \ \Delta = \nabla \cdot 1.025$$

2.8.3 Perhitungan Berat dan Titik Berat Kapal

Berat Kapal terdiri dari dua bagian yaitu adalah *lightweight tonnage* (LWT) dan *deadweight tonnage* (DWT). Dalam menghitung LWT maupun DWT dapat menggunakan beberapa cara yaitu dengan menggunakan rumus pendekatan, misalnya rumus pendekatan yang diberikan oleh (Schneekluth, 1987) dan (Bertram, 1987). Perhitungan berat kapal juga dapat dihitung sesuai dengan kondisi sebenarnya dengan menggunakan rumus pendekatan bentuk kapal atau metode per-bagian untuk mendapatkan volume dan berat bagian tersebut.

Titik berat kapal yang dicari adalah titik berat kapal yang terdiri dari bagian bagian berat yang sudah dicari pada perhitungan *deadweight* dan *lightweight* yaitu berupa *longitudinal center of gravity* dan *keel gravity* dengan menggunakan rumus pendekatan dan rumus pendekatan bentuk.

2.8.4 Analisis Stabilitas

Pengertian stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali pada kedudukan setimbang dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dalam kondisi tersebut. Perhitungan stabilitas dapat digunakan untuk mengetahui

kemampuan kapal kembali pada kedudukan semula apabila mengalami oleng pada saat berlayar. Keseimbangan statis suatu benda dibedakan atas tiga macam yaitu:

Keseimbangan stabil, adalah kondisi ketika benda mendapat kemiringan akibat adanya gaya luar, maka benda akan kembali pada kondisi semula setelah gaya tersebut hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik G (*centre of gravity*) berada dibawah titik M (*metacentre*).

Keseimbangan Labil, adalah kondisi ketika benda mengalami kemiringan akibat adanya gaya luar yang bekerja pada benda tersebut, maka kedudukan benda akan cenderung berubah lebih banyak dari kedudukan semula sesudah gaya tersebut hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik G berada diatas titik M.

Keseimbangan indeferent, adalah kondisi ketika benda mengalami kemiringan sedikit dari kedudukannya akibat adanya gaya dari luar, maka benda tetap pada kedudukannya yang baru walaupun gaya tersebut telah hilang. Jika ditinjau dari sudut keseimbangan kapal maka letak titik berat G berhimpit dengan titik *metacentre* M.

Kapal harus mempunyai stabilitas yang baik dan harus mampu menahan semua gaya luar yang mempengaruhinya hingga kembali pada keadaan seimbang. Hal-hal yang memegang peranan penting dalam stabilitas kapal antara lain:

- Titik G (*gravity*), yaitu titik berat kapal.
- Titik B (*buoyancy*), yaitu titik tekan keatas akibat air yang dipindahkan akibat badan kapal yang tercelup.
- Titik M (*metacentre*), yaitu titik perpotongan antara vector gaya tekan keatas pada pada keadaan tetap dengan vector gaya tekan keatas pada sudut oleng.

Kemampuan daya apung kapal adalah kemampuan kapal untuk mendukung gaya berat yang dibebankan dengan menggunakan tekanan hidrostatik yang bekerja dibawah permukaan air dan memberikan daya dukung dengan gaya angkat statis pada kapal. Kapal yang akan dibangun harus dapat dibuktikan secara teoritis bahwa

kapal tersebut memenuhi standart keselamatan pelayaran *Safety Of Life At Sea* (SOLAS) atau *International Maritime Organization* (IMO). Salah satu code yang digunakan dari IMO adalah IS Code 2008.

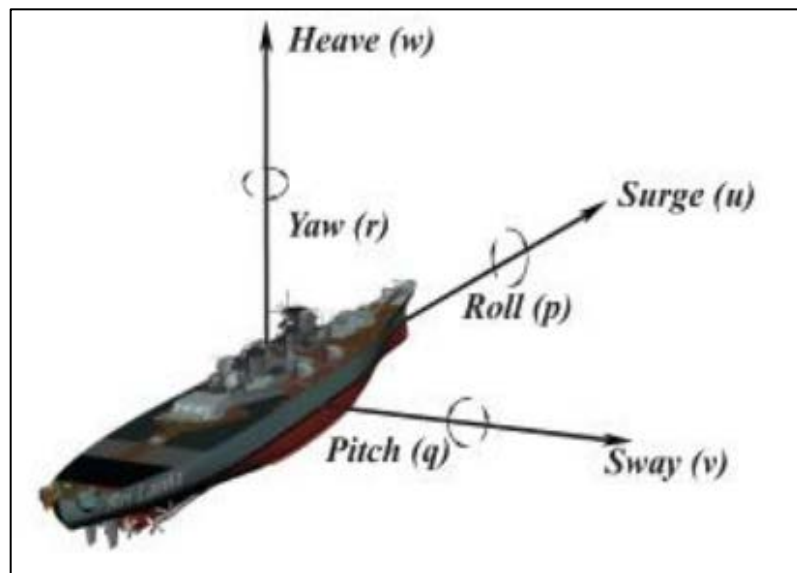
IS Code, 2008 ini mengandung kriteria *intact stability* untuk tipe tipe kapal atau *marine vechiles* dibawah ini yang mempunyai L lebih besar sama dengan 24m, berikut ini tipe-tipe kapal atau *marine vechiles* tersebut (Kurniawati, 2013) :

1. *Cargo Ships*, maksudnya adalah kapal yang bukan kapal penumpang.
2. *Cargo Ships* carrying timber deck cargo,
3. *Cargo Ships* carrying containers on deck and container ships.
4. *Passenger Ships*, yang termasuk kapal penumpang adalah kapal yang membawa lebih dari 12 penumpang sesuai dengan peraturan SOLAS Reg.I/2.
5. *Fishing Vessel*, yang termasuk kapal ini adalah kapal yang berguna untuk menangkap sumber alam hidup di laut.
6. *Spesial Purpose Ship*, yang termasuk pada kapal ini adalah kapal berkemampuan gerak dengan mekanis sendiri atau propeller sendiri yang membawa lebih dari 12 penumpang dan :
 - Kapal yang mempunyai misi ekspedisi, penelitian, survei;
 - Kapal untuk latihan *marine personel*;
 - Kapal pabrik ikan, bukan untuk menangkap
 - Kapal yang memproses sumber alam hidup di laut dan tidak berperan untuk penangkapan;
 - Kapal lainnya yang secara desain dan mode operasi kapal yang sama dengan kapal diatas.
7. *Pontoons*.
8. *Offshore Supply Vessel (OSV)*.
9. *Mobile Offshore Drilling Units (MODUs)*.

Ada beberapa kriteria utama dalam menghitung stabilitas kapal. Kriteria stabilitas tersebut diantaranya [IS Code 2008] adalah:

- $e0\ 30^\circ \geq 0.055\ \text{m.rad}$, luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.055\ \text{m.rad}$
- $e0\ 40^\circ \geq 0.09\ \text{m.rad}$, luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^\circ \geq 0.09\ \text{m.rad}$
- $e30,40^\circ \geq 0.03\ \text{m.rad}$, luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \sim 40^\circ \geq 0.03\ \text{m.rad}$
- $h30^\circ \geq 0.2\text{m}$, lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 m pada sudut oleng 30° atau lebih.
- H_{max} pada $\phi_{\text{max}} \geq 25^\circ$, lengan penegak maksimum pada sudut oleng lebih dari 25°
- $GM0 \geq 0.15\ \text{m}$, tinggi metasenter awal $GM0$ tidak boleh kurang dari 0.15 meter.

2.10. Olah Gerak Bangunan Laut Terapung Akibat Eksitasi Gelombang



Gambar 2.17 Derajat kebebasan pada bangunan laut terapung (Sandaruwan, 2010)

Struktur yang terapung yang bergerak di atas permukaan laut mengalami gerakan osilasi. Pada dasarnya gerakan osilasi bangunan yang terapung di laut terdiri dari 6 macam gerakan yaitu 3 gerakan translasi dan 3 gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu gerakan. 6 macam gerakan osilasi yaitu:

a. Gerakan Translasi

- *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
- *Heave*, gerakan transversal arah sumbu y
- *Sway*, gerakan transversal arah sumbu z

b. Gerakan Rotasional

- *Roll*, gerakan rotasi arah x
- *Pitch*, gerakan rotasi arah z
- *Yaw*, gerakan rotasi arah y.

Definisi gerakan osilasi bangunan yang terapung di laut dalam enam derajat kebebasan dapat direpresentasikan dengan Gambar 2.17.

2.7.1 Heave

Heave adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z), dimana heaving adalah salah satu gerakan kapal pada permukaan perairan gelombang regular, dimana gerakan-gerakannya tersebut disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada badan kapal yang tidak lain adalah gaya gelombang (Murtedjo, 1990). Secara umum persamaan gerakan heaving suatu bangunan terapung pada gelombang regular adalah:

$$a\ddot{Z} + b\dot{Z} + cZ = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana :

$a\ddot{Z}$: *Inertial force*

$b\dot{Z}$: *Damping force*

cZ : *Restoring Force*

$F_0 \cos(\omega_\theta t)$: *Exciting Force*

2.7.2 Surge

Surge merupakan gerakan osilasi pada bangunan apung dimana arah pergerakan dari gerakan translasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu longitudinal (sumbu x). Secara umum persamaan surge pada bangunan terapung adalah:

$$a\ddot{X} + b\dot{X} + cX = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

$a\ddot{X}$: *Inertial force*

$b\dot{X}$: *Damping force*

cX : *Restoring Force*

$F_0 \cos(\omega_\theta t)$: *Exciting Force*

2.7.3 Sway

Sway merupakan gerak translasi pada bangunan terapung dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Persamaan umum bangunan apung pada kondisi *swaying* adalah:

$$a\ddot{Y} + b\dot{Y} + cY = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

$a\ddot{Y}$: *Inertial force*

$b\dot{Y}$: *Damping force*

cY : *Restoring force*

$F_0 \cos(\omega_\theta t)$: *Exciting Force*

2.7.4 Roll

Rolling merupakan gerak rotasional dengan sumbu X sebagai pusat geraknya. Gerakan ini akan berpengaruh terhadap initial velocity sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya. Rumus umum dari persamaan gerak akibat *rolling* ialah:

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos \omega_\theta t \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

M_0 = Amplitudo momen eksitasi (m)

ω_θ =Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\phi}$ = *Inertial moment*

$b\dot{\phi} = \text{Damping Moment}$

$c\phi = \text{Restoring Moment}$

$M_0 \cos \omega_\theta t = \text{Exciting moment}$

2.7.5 Pitch

Pitching merupakan gerak rotasional dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Karena gerak *pitching* akan berpengaruh terhadap kesetimbangan posisi, maka momen yang terjadi akibat pitching perlu diperhitungkan. Rumus umum dari persamaan gerakan akibat pitching adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos \omega_\theta t \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$M_0 =$ Amplitudo momen eksitasi (m)

$\omega_\theta =$ Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\theta} =$ Inertial moment

$b\dot{\theta} =$ Damping Moment

$c\theta =$ Restoring Momen

$M_0 \cos \omega_\theta t =$ Exciting momen

2.7.6 Yaw

Gerak *yaw* merupakan gerak rotasional pada sumbu Z sebagai pusat gerak. Sama halnya seperti pada gerak *rolling* dan *pitching*, gerak ini pun akan berpengaruh terhadap kesetimbangan struktur, sehingga perlu memperhitungkan momen gaya. Persamaan umum untuk *yawing* ialah: .

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos \omega_\theta t \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

$M_0 =$ Amplitudo momen eksitasi (m)

$\omega_\theta =$ Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

$a\ddot{\phi} =$ Inertial moment

$b\dot{\varphi} = \text{Damping Moment}$

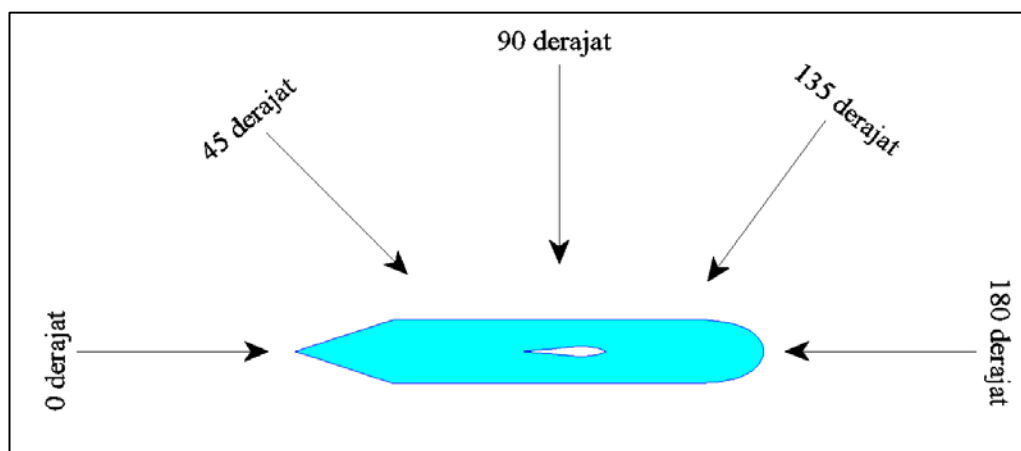
$c\varphi = \text{Restoring Momen}$

$M_0 \cos \omega_\theta t = \text{Exciting moment}$

2.11. Arah Gerakan *barge* terhadap Gelombang

Ketika *barge* beroperasi baik dalam kondisi *stationer* (diam) maupun bergerak dengan kecepatan tertentu, akan menghadapi gelombang yang datang dari berbagai arah. Perbedaan arah eksitasi gelombang akan mempunyai dampak intensitas gerakan yang berbeda-beda dalam 6 derajat kebebasannya. Perbedaan intensitas tersebut jelas terjadi karena perbedaan pola aliran yang timbul di medan fluida sekitar benda.

Dapat dilihat pada Gambar 2 18 arah gelombang (μ) didefinisikan sebagai sudut antara arah datangnya gelombang dengan arah kapal. Selanjutnya, dapat diberikan nilai $\mu=0^\circ$ jika arah datangnya gelombang sama dengan arah *barge*. Sebaliknya jika arah datangnya gelombang berlawanan dengan arah *barge*, maka nilai $\mu=180^\circ$. Dengan kata lain $\mu=0^\circ$ adalah sama dengan gelombang yang datang dari arah buritan *barge*, sedangkan $\mu=180^\circ$ adalah gelombang yang datang dari arah haluan *barge*. Umumnya ada 5 sudut arah datang gelombang yang biasa digunakan dalam proses penganalisaan, seperti yang ditunjukkan pada gambar II. 1 di bawah ini.



Gambar 2 18 5 Arah Datang Gelombang terhadap Kapal.

Ada beberapa istilah yang lazim digunakan untuk mengidentifikasi arah datangnya gelombang, antara lain:

- 1) Gelombang yang mempunyai arah $\mu = 0^\circ$ biasa disebut dengan *following seas* atau gelombang buritan.
- 2) Gelombang yang mempunyai arah $\mu = 180^\circ$ biasa disebut *head seas*.
- 3) Gelombang yang mempunyai arah $\mu = 90^\circ$ dan $\mu = 270^\circ$ biasa disebut dengan *beam seas* atau gelombang sisi, yang dibagi lagi menjadi dua yaitu *port beam* dan *starboard beam*.

Sedangkan untuk gelombang-gelombang lain dengan arah, miring, menyilang atau diagonal lazim disebut dengan *oblique seas* (Sholihin, 2015).

2.12. Frekuensi dan Periode Alami

Pada kondisi ideal di mana suatu sistem bergerak tanpa menerima redaman, maka bila padanya diberikan simpangan dan kemudian dilepaskan, sistem akan berosilasi terus dengan amplitudo dan frekuensi yang tetap. Frekuensi adalah banyaknya *cycle* yang terjadi selama satu detik. Periode merupakan kebalikan dari frekuensi, adalah waktu yang diperlukan untuk satu *cycle* terpendek pada getaran. Dalam hal demikian, yang dinamakan sistem tak teredam atau *undamped*, maka frekuensi gerakannya adalah disebut frekuensi natural dan periodenya disebut periode natural (Djarmiko, 2012).

Frekuensi, dan sebaliknya periode natural gerakan penting untuk diketahui pada suatu sistem dinamis yang bergerak dalam mode osilasi, seperti bangunan apung dan kapal di atas gelombang. Pemahaman tentang frekuensi natural akan memberikan acuan bagi perancang, pada tahap perancangan, atau operator pada tahap pengoperasian, untuk menghindari terjadinya resonansi akan menjadikan repons, gerakan bangunan apung dalam hal ini, menjadi berlebihan, dan selanjutnya tentunya akan membahayakan keselamatannya (Djarmiko, 2012)

Pada bangunan yang mengapung bebas tanpa pengikatan, hanya akan ada tiga mode gerakan yang mempunyai frekuensi natural, yakni pada mode *heave*, *roll*, dan

pitch. Sedangkan mode lainnya tidak mempunyai frekuensi natural, karena secara teknis tidak mempunyai mekanisme kekakuan sendiri, yang akan bermanifestasi menjadi gaya pengembali (Djarmiko, 2012).

2.13. Response Amplitude Operators (RAOs)

Gerakan suatu kapal pada gelombang reguler disebut sebagai *Response Amplitude Operators (RAOs)*. RAO merupakan informasi tentang karakteristik gerakan kapal itu sendiri. Informasi karakteristik gerakan kapal ini umumnya disajikan dalam bentuk kurva, di mana absisnya adalah parameter frekuensi dan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada derajat kebebasan tertentu dengan amplitudo gelombang atau RAO gerakan tersebut.

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge*, *sway* dan *heave*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang.

$$RAO = \frac{\zeta k_0}{\zeta_0} \left(\frac{m}{m} \right) \quad (2.15)$$

Sedangkan, respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll*, *pitch*, dan *yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni perkalian antara angka gelombang (k) dengan amplitudo gelombang.

$$RAO = \frac{\zeta k_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta k_0}{\left(\frac{\omega^2}{g} \right) \zeta_0} \left(\frac{rad}{rad} \right) \quad (2.16)$$

RAO dapat diperoleh dari tes model pada *towing tank*, perhitungan analitis, maupun simulasi numerik dengan perangkat lunak. Rangkuman rumus umum RAO untuk 6 derajat kebebasan dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2 4. Rumus Umum RAO, (Sholihin, 2015).

No.	Gerakan	RAO	No.	Gerakan	RAO
1	<i>Surge</i>	$(x_a/\zeta_a)^2$	4	<i>Roll</i>	$(\Phi_a/\zeta_a)^2$
2	<i>Sway</i>	$(y_a/\zeta_a)^2$	5	<i>Pitch</i>	$(\Theta_a/\zeta_a)^2$
3	<i>Heave</i>	$(z_a/\zeta_a)^2$	6	<i>Yaw</i>	$(\Psi_a/\zeta_a)^2$

Di mana:

- ζ_a : Amplitudo gelombang
- x_a : Amplitudo gerakan *surge*
- y_a : Amplitudo gerakan *sway*
- z_a : Amplitudo gerakan *heave*
- Φ_a : Amplitudo gerakan *roll*
- Θ_a : Amplitudo gerakan *pitch*
- Ψ_a : Amplitudo gerakan *yaw*

RAO disebut juga sebagai *transfer function* karena dapat digunakan untuk mentransformasikan beban gelombang menjadi respon spektrum. Pada gelombang yang panjang, nilai frekuensi gelombang sangat kecil dan efek dinamis yang terkait dengan *added mass* dan *damping* secara virtual dapat diabaikan. Jadi eksitasi dan reaksi yang dialami oleh kapal sebagian besar disebabkan oleh perubahan *buoyancy* kapal saat gelombang melewati lambung kapal.

2.14. Spektrum Gelombang

Sebuah gelombang reguler memuat energi yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya (Djarmiko, 2012) seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$\frac{dE_T}{dA} = \frac{dE_P + dE_K}{dA} = \frac{1}{2} \rho g \zeta_o^2 \quad (2.17)$$

Di mana:

- dE_T = Energi total
- dA = Luas permukaan

dE_p = Energi potensial

dE_K = Energi kinetik

ζ_o = Amplitudo gelombang

Mengacu pada hal ini, maka energi yang dimuat dalam sebuah gelombang acak (*irregular wave*) merupakan penjumlahan energi yang dikontribusikan oleh semua komponen gelombang reguler. Adapun energi yang dikontribusikan oleh komponen gelombang reguler ke-n adalah:

$$E_n = \frac{1}{2} \rho g \zeta_{no}^2 \quad (2.18)$$

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang atau lebih dikenal dengan istilah spektrum gelombang (Ahadyanti, 2015).

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam perhitungan adalah model *Pierson-Moskowitz* (1964), *ISSC* (1964), *Scott* (1965), *Bretschneider* (1969), *JONSWAP* (1973), *ITTC* (1975) dan *Wang* (1991). Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang *JONSWAP* karena karakteristik perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan sehingga cocok dengan karakter spektrum *JONSWAP* (Djarmiko, 2012).

Spektrum *JONSWAP* didasarkan pada percobaan yang dilakukan di *North Sea*. Persamaan spektrum *JONSWAP* dapat dituliskan dengan memodifikasi persamaan spektrum *Pierson-Moskowitz*, menjadi:

$$S_j(\omega) = A_j S_{pm}(\omega) \gamma^{\exp(-0,5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p} \right)^2)} \quad (2.19)$$

Di mana:

$$\begin{aligned} S_{pm}(\omega) &= \text{Spektra } \textit{Pierson-Moskowitz} \\ &= \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^4 \omega^{-5} \exp \left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^{-4} \right) \end{aligned} \quad (2.20)$$

- γ = Parameter puncak (*peakedness parameter*); untuk Laut Utara mempunyai harga 3,3
- σ = Parameter bentuk (*shape parameter*) untuk $\omega \leq \omega_0 = 0,07$ dan $\omega \geq \omega_0 = 0,09$
- A_γ = Normalizing factor = $1 - 0.287 \ln(\gamma)$
- ω = Wave frequency (rad/sec)
- ω_p = Angular spectral peak frequency (rad/sec)
- H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)
- T_p = Periode puncak (s)

Formulasi spektra JONSWAP akhir-akhir ini banyak dipakai dalam perancangan dan analisis bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal ini cukup dapat dimengerti karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas dioperasikan merupakan perairan kepulauan atau perairan tertutup. Namun dari sejumlah kajian, untuk perairan Indonesia disarankan memakai parameter γ (gamma) yang lebih kecil, sekitar 2,0 sampai 2,5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djatkiko, 2012).

2.15. Respon Spektrum pada Gelombang Acak (Irregular Wave)

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah yang tak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang memiliki tingkat energi tertentu yang dikontribusikan dan secara keseluruhan dapat diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djatkiko, 2012).

Respon spektrum pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga kuadrat dari *Response Amplitude Operators* (RAOs) dengan spektrum gelombang pada daerah

struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan spektrum respon secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.21)$$

Di mana:

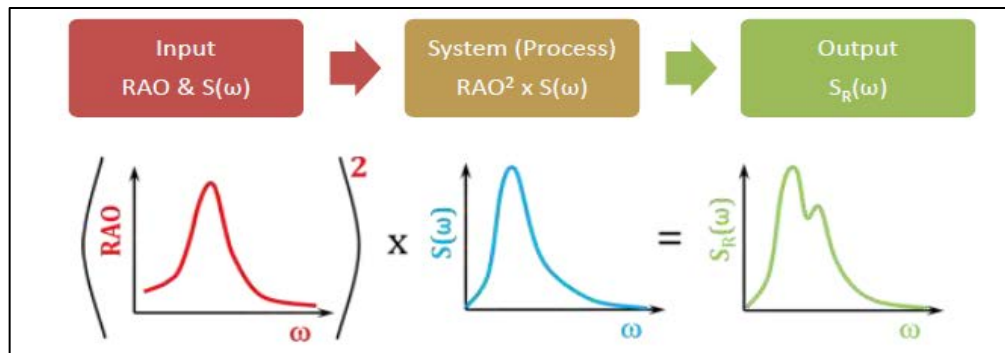
S_R = Spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = Spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = *Transfer function*

ω = Frekuensi gelombang (rad/sec)

Seperti pada proses sistem elektronik, persamaan di atas dapat diilustrasikan secara grafis pada Gambar 2 19, di mana input berupa $S(\omega)$ dan RAO yang masuk ke dalam kotak proses, akan menghasilkan spektra respons $S_R(\omega)$. Proses seperti ini secara umum dikenal sebagai analisis spektral atau *spectral analysis* (Djatkiko, 2012).



Gambar 2 19. Transformasi Spektrum Gelombang menjadi Respon Spektrum (Ahadyanti, 2015).

Setelah spektrum respon diperoleh maka intensitas gerakan dapat dihitung sebagai fungsi luasan di bawah kurva spektrum respon atau merupakan variasi elevasi gerakan, yaitu sebagai berikut:

$$m_{r0} = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (2.22)$$

$$m_{r2} = \int_0^{\infty} \omega^2 S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (2.23)$$

$$m_{r4} = \int_0^{\infty} \omega^4 S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (2.24)$$

Varian m_{r0} diistilahkan sebagai luasan di bawah kurva spektra respons, momen kedua luasan di bawah kurva spektra m_{r2} , dan momen keempat luasan di bawah kurva spektra respons m_{r4} . Dengan demikian momen spektra dapat diberikan dalam bentuk umum (Djatkiko, 2012):

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (2.25)$$

Berdasarkan persamaan 2.31 jika diturunkan akan didapatkan harga-harga statistik gerakan sebagai fungsi varian elevasi gerakan m_{r0} , yaitu misalnya sebagai amplitudo gerakan rata-rata yang dihitung sebagai berikut:

$$R_{1/2} = 2,50 \sqrt{m_{r0}} \quad (2.26)$$

Harga amplitudo gerakan signifikan dihitung sebagai:

$$R_{1/3} = 4,00 \sqrt{m_{r0}} \quad (2.27)$$

Di samping itu kemudian juga dapat diturunkan korelasi antara tinggi gelombang 1/10 tertinggi dengan tinggi gelombang signifikan seperti di bawah ini:

$$R_{1/10} = 5,10 \sqrt{m_{r0}} \quad (2.28)$$

2.9 Analisis Ekonomi

Dalam penelitian ini adapun studi literatur untuk menganalisis kelayakan usaha dengan tujuan untuk mengevaluasi kinerja ekonomi dan proyek inovasi suatu perusahaan. Metode yang dilakukan untuk analisis ekonomi dalam mengevaluasi proyek inovasi adalah dengan menggunakan NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate Return), BEP (Break Even Point) dan lain-lain. Meskipun metode analisis ekonomi berbeda-beda setiap penelitian namun mereka memiliki prinsip yang relatif sama, yaitu pendekatan untuk mengestimasi perhitungan pengembalian ekonomi suatu proyek sebagai keuntungan investasi.

2.9.1 Net Present Value (NPV)

Metode NPV (Net Present Value) atau dapat dikenal sebagai Nilai sekarang bersih merupakan metode valuasi ekonomi yang paling populer dalam mengevaluasi proyek. Nilai sekarang bersih adalah metode finansial pengukuran standar yang dilakukan pada proyek jangka panjang. Dalam perhitungan NPV menggunakan konsep tingkat suku bunga diskonto yang akan mempengaruhi aliran kas. Metode ini menggunakan konsep nilai waktu dari uang yang ditetapkan (Ross, 2008); oleh karena itu metode NPV dapat menjelaskan bahwa nilai uang sekarang akan lebih berharga dari nilai uang di masa yang akan datang, hal ini dapat dijelaskan dalam rumus NPV sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

(2.15)

NPV dapat dihitung dengan selisih nilai proyek tahun awal dikurangi dengan tingkat suku bunga diskonto. Keterangan pada rumus NPV (2.15) dapat dijelaskan dibawah ini:

- t = tahun proyek investasi
- n = umur proyek investasi
- r = tingkat suku bunga
- C_t = aliran kas bersih pada tahun ke-t
- C_0 = modal awal investasi pada tahun ke-0

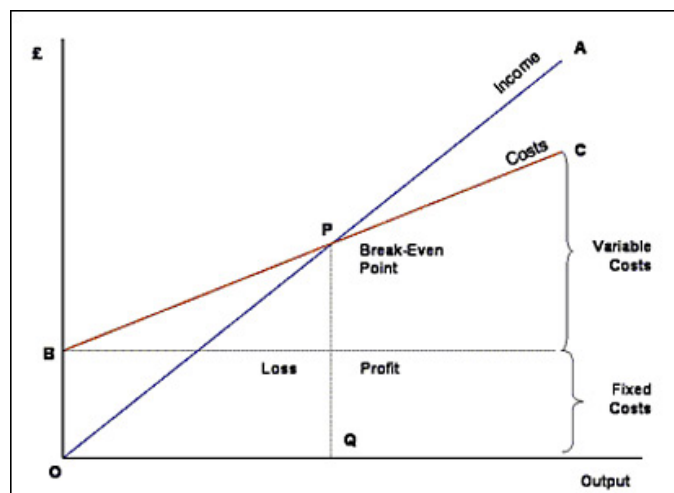
Jika nilai NPV positif maka investasi menguntungkan dan proyek diterima sebaliknya jika nilai NPV negatif maka investasi tidak menguntungkan dan proyek ditolak. Sedangkan jika nilai NP = 0, maka investasi tersebut tidak mempengaruhi proyek perusahaan.

(Ondrej, 2014) menggunakan analisis ekonomi Net Present Value dalam studi “*Net present value approach: method for economic assessment of innovation projects*” untuk mengevaluasi suatu proyek inovasi perusahaan, dengan menggunakan metode NPV, Ondrej, menjelaskan bahwa dapat memperhitungkan

semua arus kas dengan konsep *time value of money*, memperhitungkan resiko dari arus kas yang masuk di masa yang akan datang untuk pengembalian tingkat modal investasi selain itu juga dapat mengetahui apakah investasi yang dilakukan dapat meningkatkan nilai keuntungan perusahaan atau tidak. Selanjutnya dalam studi ini menganalisis pro dan kontra dari metode NPV dan mengatasi kelemahan dari metode tersebut.

2.9.2 Break Even Point Analysis (BEP)

Analisa break-even merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk mengestimasi keuntungan investasi suatu proyek. Tujuan dari metode analisis dalam hal ini adalah jumlah rupiah/dollar dan unit, dimana biaya investasi sama dengan keuntungan. Diatas titik tersebut akan memperoleh profitabilitas investasi suatu proyek (Heizer, J. and Render, B., 2009). Dalam analisa ekonomi, break-even point suatu proyek inovasi dapat dihitung dengan *total revenue* (TR) sama dengan *total cost* (TC) (Mankiw, 2009).



Gambar 2 20 Grafik BEP(Apptivo.com)

Rumus dari Break-even analysis dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
&TR = TC \\
&P \times X = TFC + V \times X \\
&P \times X - V \times X = TFC \\
&(P - V) \times X = TFC \\
&X = \frac{TFC}{P - V}
\end{aligned}$$

(2.16)

Dimana keterangan diatas adalah:

TR = Total Revenue/Pendapatan total

TC = Total Cost/ Biaya total

P = Price/ Harga

V = Variable cost per unit/ Biaya variabel per unit

Penelitian yang berkaitan dengan proyek yang bersifat rekayasa atau disebut dengan engineering project, analisa break-even point digunakan untuk menentukan jarak optimal ketika terjadinya sistem pembangkit listrik dengan tenaga hybrid lebih ekonomi dibandingkan mengekspansi saluran transmisi tenaga listrik di negara Turki bagian utara. Dalam studi mengenai “*Break-even analysis and size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage*”, (Banu, O., Ozerdem, E., 2009), menganalisa break-even point dalam penggunaan energy hybrid untuk menentukan biaya dan pemilihan proyek yang lebih baik antara memasang sistem energi hybrid atau ekspansi dari saluran transmisi pembangkit listrik.

Tamayo, L. (2011) meneliti mengenai “*Break-even analysis in engineering projects: the case of a new technology application*”. Dalam studinya, penulis menjelaskan ketika melakukan investasi untuk keberlangsungan teknologi yang ada maka perlu adanya analisa break-even serta siklus proyek yang harus diverifikasi. Salah satu contoh yang penulis jelaskan adalah kasus kapal-kapal sungai Angkatan Laut Kolombia dengan mengevaluasi apakah perlunya mengurangi berat armor, untuk mengurangi tingginya biaya konsumsi bahan bakar. Peneliti menggunakan alat komputasi teknik yang dikombinasikan dengan analisis statistik navigasi kapal, untuk mengukur biaya variabel. Dengan kriteria obyektif analisa break-even tersebut maka dapat mengevaluasi keputusan untuk investasi.

2.9.3 Internal Rate of Return (IRR)

Selain menggunakan metode NPV, metode IRR (Internal Rate Return) dapat digunakan untuk menilai kelayakan proyek investasi jangka panjang. IRR dapat didefinisikan sebagai tingkat suku bunga diskonto yang menyamakan nilai sekarang atau *present value* dari arus kas dan nilai investasi suatu proyek inovasi. Dengan kata lain, IRR merupakan tingkat bunga pada saat NPV = 0, yaitu tingkat suku bunga pada saat nilai investasi awal sama dengan nilai masa depan aliran kas selama umur proyek inovasi. Rumus IRR dapat dilihat sebagai berikut

$$NPV = 0 = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} \quad (2.17)$$

Keterangan rumus IRR:

- t = tahun proyek investasi
- n = umur proyek investasi
- C_t = aliran kas bersih pada tahun ke-t
- C₀ = modal awal investasi pada tahun ke-0

Jika nilai IRR semakin tinggi dari suku bunga diskonto, maka proyek inovasi tersebut layak diterima dan semakin besar keuntungan proyek tersebut sebaliknya jika nilai IRR lebih kecil dari biaya modal, maka proyek tersebut tidak layak dan ditolak (Ross et. al, 2008). Jadi dalam hal ini agar proyek inovasi dapat diterima berdasarkan metode IRR, tingkat diskonto harus melebihi biaya modal proyek meningkatkan keuntungan pemegang saham proyek.

Sebagaimana yang telah diteliti oleh Rabaya Bosri (2016) dalam studi analisis berjudul “*Evaluation of Managerial Technique: NPV and IRR*” adalah mengevaluasi teknik pengambilan suatu keputusan berdasarkan perhitungan NPV dan IRR, dimana dalam metode tersebut dapat memperkirakan tingkat nilai investasi di masa yang akan datang dan menganalisa teknik yang paling berguna bagi para manajer proyek dalam mengambil keputusan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pada Bab 3 ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah dalam pengerjaan Thesis ini. Digambarkan dengan diagram alir pengerjaan, kemudian dijelaskan setiap poin yang ada dalam diagram alir tersebut.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir (*flow chart*) pengerjaan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.3 Langkah Pekerjaan

3.3.1 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan proses pengambilan data primer maupun sekunder guna menunjang proses desain awal power barge. Data-data inilah yang akan menjadi patokan inti dari proses desain Power Plant Barge OTEC ini kedepannya. Data-data yang dibutuhkan antara lain:

- **Data Lokasi Potensi OTEC Lepas Pantai**
Data yang ingin diperoleh dari Ocean Thermal ini adalah data titik lokasi potensi sumber daya panas air laut sebagai sumber pembangkit.
- **Data OTEC *Barge* Pembanding**
Data OTEC *barge* pembanding dibutuhkan untuk menjadi acuan konsep desain OTEC *barge*. Metode yang digunakan untuk melakukan pembanding atau acuan konsep desain adalah metode *parent based design*.
- **Data Kondisi Perairan**
Data kondisi perairan yang diambil berupa data suhu permukaan laut, data suhu keladalaman 700 m, data gelombang signifikan, data arus laut sampai

kedalaman 15 m, data kecepatan angin laut. Data suhu permukaan laut didapatkan dari data sekunder yang didapatkan dari BALITBANG ESDM dan data gelombang laut, kecepatan angin dan lain-lain didapatkan dari data satelit yang dapat diakses melalui www.ecwmf.com.

3.3.2 Perhitungan Teknis OTEC *Plant System*

Perhitungan teknis ini pertama-tama dimulai dengan mencari nilai diameter *riser* yang dibutuhkan tiap lokasi potensi OTEC di wilayah Indonesia dengan menggunakan persamaan dari Nihous. Kedua adalah melakukan pemilihan *Heat exchanger* yang digunakan OTEC. Kedua perhitungan teknis tersebut dilakukan pencarian berat dan titik beratnya dengan menggunakan metode luas bangun berat dan titik berat.

3.3.3 Penentuan Ukuran Utama OTEC *barge*

Penentuan ukuran utama OTEC *barge* diawali dengan menggunakan metode *parent based design*, lalu dilakukan pembuatan sketsa ruangan sistem OTEC dan memerhatikan penambahan-penambahan ukuran utama yang diperlukan.

Dari data-data yang didapat dibuat layout awal dari barge yang didapatkan dari ukuran utama mesin yang dipakai. Pertama dari ukuran mesin (panjang, lebar dan tinggi) digambarkan layout awal dari peletakan mesin dan geladak barge. Dari layout penempatan mesin diberikan margin antar mesin dan mesin ke tepi barge. Setelah layout penempatan barge didapatkan ditambahkan tempat di belakang penempatan mesin sebagai rumah geladak dari barge. Setelah pandangan atas geladak didapat kemudian digambar pandangan samping dan layout dari bottom.

3.3.4 Analisis Teknis dan Penentuan Parameter Desain

Ada beberapa analisis teknis yang dilakukan, yaitu adalah pengecekan rasio ukuran utama, pengecekan rasio *displacement*, analisis stabilitas dan analisis respon

gerak struktur. Analisis ini dilakukan untuk melihat apakah konsep desain dianggap memenuhi kriteria kriteria yang ada.

3.3.6 Perhitungan Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan dengan melakukan dua scenario kelayakan ekonomi OTEC *barge*. Skenario pertama merupakan skenario berapa IRR jika menggunakan harga listrik yang telah diatur Indonesia dan berapa harga listrik yang dijual jika melihat IRR sebesar 11 %. Metode perhitungan ekonomi OTEC *barge* ini dibagi dua tahap, yaitu:

1. *OTEC*

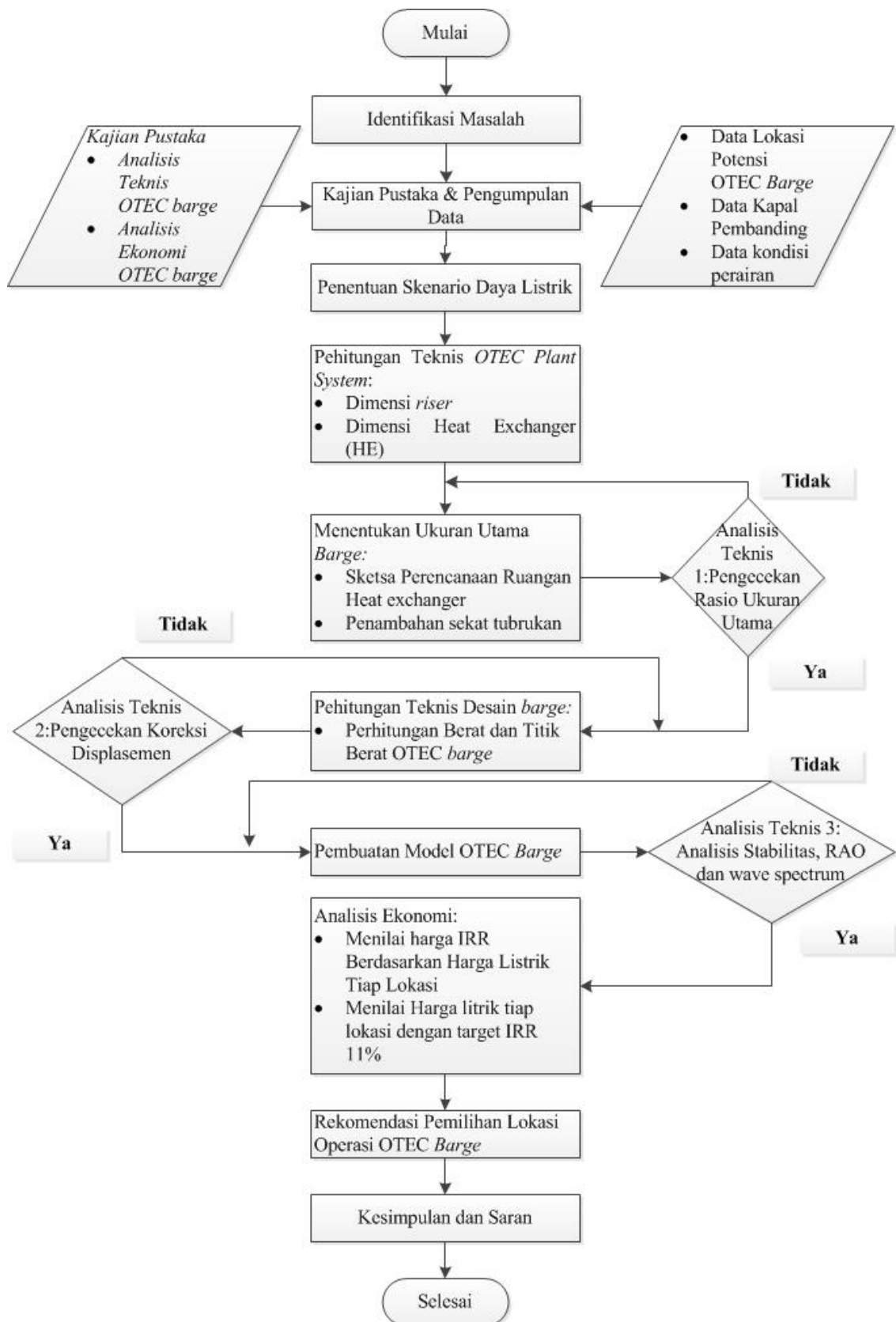
Analisis Ekonomi OTEC Plant dilakukan dengan menggunakan katalog-katalog spesifikasi teknis dan atau pendekatan dari Vega (Ocean Thermal Energy Conversion).

2. *Barge*

Analisis Ekonomi Barge dilakukan dengan menggunakan persamaan dari D.G.M Watson (Practical Ship Design).

3.3.7 Pemilihan Lokasi Operasi OTEC

Pemilihan lokasi potensi OTEC lepas pantai dilakukan dengan melakukan pemilihan terhadap analisis ekonomi yaitu IRR terbesar yang dapat dicapai jika diasumsikan semua daya pasar terserap.



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

BAB IV. DESAIN OTEC BARGE

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan proses perancangan dan perhitungan *OTEC BARGE* dan dilaporkan rekapitulasi hasil perancangan dan perhitungan tersebut. Perancangan dan perhitungan ini dimulai dari melakukan penentuan besaran daya tenaga listrik yang ingin didesain, perencanaan dimensi *riser* untuk air permukaan maupun air dingin. Kedua menentukan alat penukar panas dan gerator turbin yang digunakan, menentukan ukuran utama kapal serta menghitung koefisien utama kapal. Ketiga melakukan perhitungan berat dan titik berat lwt dan dwt, perhitungan *freeboard*. Keempat membuat desain model untuk dilanjutkan melakukan proses analisa stabilitas dan pengecekan kriteria-kriteria yang harus dipenuhi.

4.2 Skenario Desain Daya Listrik

Berdasarkan data kebutuhan yang dijelaskan pada RUPTL PLN 2016-2025 penambahan penggunaan energi terbarukan berbasis tenaga laut sampai saat ini akan dilihat perkembangan kajiannya dan jika ada kajian atau penelitian yang dianggap akan membawa keuntungan di bidang ekonomi energi maka akan diterapkan (KESDM, 2016). Selain itu kebutuhan akan tenaga listrik yang cukup banyak dan kemampuan interkoneksi listrik tiap daerah. Sehingga penulis menentukan nilai P_{net} berdasarkan penelitian *OTEC Barge* yang sudah dilakukan dan sudah disimulasi maupun diuji kelayakannya. Nilai P_{net} dan P_{gross} dapat dilihat seperti pada Tabel 4.1 yang dijelaskan dibawah ini.

Tabel 4.1 Nilai P_{net} dan P_{gross} .

No	P_{net} (MW)	P_{gross} (MW)
1	5	6,5
2	10	13
3	50	65

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 diatas bahwa terdapat nilai P_{gross} atau daya kotor. Daya kotor didapatkan dari penjumlahan 30% dari nilai P_{net} . Penjumlahan tersebut diasumsikan menjadi daya yang digunakan untuk pengoperasian sistem *OTEC barge* (Nihous, 2007).

Daya pengoperasian yang dimaksud digunakan untuk pengoperasian *riser* dan pompa *riser*, listrik akomodasi, penerangan dan hal hal lainnya.

4.2 Perencanaan Dimensi *Riser* OTEC *Barge*

Dalam melakukan perencanaan dimensi pipa air permukaan dan air dingin yang diambil oleh OTEC *Barge* untuk menjalankan proses konversi tenaga panas laut menjadi listrik, dibutuhkan data temperatur dari titik lokasi yang berpotensi menjadi titik lokasi operasi OTEC *Barge*. Indonesia memiliki banyak titik lokasi OTEC, akan tetapi pada penelitian ini memiliki suatu batasan terhadap kondisi jarak titik lokasi dengan garis pantai, yaitu lebih dari 10 km. Lokasi potensi OTEC di Indonesia menggunakan hasil penelitian (Mukhtasor, 2014).

Tabel 4.2 Titik lokasi potensi OTEC di indonesia (Mukhtasor, 2014).

Suhu Air Permukaan Laut dan Suhu Air Dingin Laut (700 m)							
No.	Lokasi	T ₁ (C°)	T ₂ (C°)	DT (C°)	T ₁ (K°)	T ₂ (K°)	DT (K°)
1	Laut Flores, Bali Bima	5	27	22	278,2	300,15	22
2	Samudera Hindia, Timor	5	28	23	278,2	301,15	23
3	Banda	5	26	21	278,2	299,15	21
4	L. Banda, Bandaneira	5	28	23	278,2	301,15	23
5	Selat Makasar, Majene	5	26	21	278,2	299,15	21
6	P. Talaud	5	28	23	278,2	301,15	23

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 data perbedaan temperatur yang didapatkan dari perbedaan temperatur suhu permukaan air laut (T₂) dan suhu air dingin laut yang berada kedalaman 700 m (T₁). Data perbedaan temperatur ini diperlukan untuk mendapatkan aliran air laut yang diperlukan untuk OTEC menghasilkan energi listrik yang telah direncanakan. Setelah didapatkan aliran air yang diperlukan maka dengan menggunakan persamaan debit air pipa didapatkan dimensi pipa yang diperlukan untuk mendapatkan laju air laut yang sesuai untuk mendapatkan besar energi listrik yang telah direncanakan pada thesis ini, yaitu 5 mW, 10 mW, 50 mW, .

Menggunakan persamaan 2.3 pada Bab 2 ditentukan nilai spesifik panas air laut pada tekanan konstan ($C_p = 4 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$) (Nihous, 2007). Berikut merupakan langkah perhitungan yang diperlukan untuk mendapat nilai laju air permukaan (Q_{ww}) dan air laut kedalaman 700 m (Q_{cw}) pada pembangkit listrik 5 mW dilaut Flores, Bali-Bima:

$$Q_{cw} = \frac{5000 \text{ kW} \cdot 8 \cdot 300,15 \text{ K}^o}{1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{K} \cdot 0,93 \cdot \left\{ \frac{3 \cdot 2}{2(1+2)} 22^2 C^o - 0,18 \cdot 22^2 C^o - 0,12 \cdot \left(\frac{2}{2}\right)^{2,75} \cdot 22^2 C^o \right\}}$$

$$Q_{ww} = 2 \times Q_{cw}$$

Dengan langkah perhitungan diatas, maka dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 didapatkan hasil perhitungan laju aliran air laut permukaan maupun air laut kedalaman 700 m untuk pembangkit listrik tenaga panas laut bertenaga 5 mW, 10 mW, 50 mW, disetiap lokasi potensi OTEC yang telah ditentukan pada thesis ini. Hasil ini juga terlampir pada Lampiran I halaman 1-2.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan laju aliran air laut kedalaman 700 m.

$Q_{cw} \text{ (m}^3\text{/s)}$				
No.	Lokasi	P_{net}		
		5 MW	10 MW	50 MW
1	Laut Flores, Bali Bima	12,08	24,16	120,82
2	Samudera Hindia, Timor	11,09	22,18	110,91
3	Banda	13,22	26,43	132,16
4	L. Banda, Bandaneira	11,09	22,18	110,91
5	Selat Makasar, Majene	13,22	26,43	132,16
6	P. Talaud	11,09	22,18	110,91

Tabel 4.4 Hasil perhitungan laju aliran air laut permukaan.

$Q_{ww} \text{ (m}^3\text{/s)}$				
No.	Lokasi	P_{net}		
		5 MW	10 MW	50 MW
1	Laut Flores, Bali Bima	24,16	48,33	241,64
2	Samudera Hindia, Timor	22,18	44,36	221,82
3	Banda	26,43	52,86	264,31
4	L. Banda, Bandaneira	22,18	44,36	221,82
5	Selat Makasar, Majene	26,43	52,86	264,31
6	P. Talaud	22,18	44,36	221,82

Menggunakan persamaan 2.3 ditentukan kecepatan rata rata air laut yang digunakan untuk mengambil air laut melalui pipa ke modul-modul perpindahan panas sebesar 3 m/s ($v_{ww}=3 \text{ m/s}$) dan untuk air dingin sebesar 1,9 m/s (Vega, 2012). Berikut merupakan langkah perhitungan untuk mendapatkan nilai luasan diameter pipa yang dibutuhkan untuk mengambil air laut yang diambil tenaga perpindahan panasnya menjadi tenaga listrik. Pada pembangkit listrik tenaga panas laut 5 mW dilaut Flores, Bali-Bima:

$$D_{cw} = \sqrt{\frac{12,08 \times 4}{3 \times 3,14}} \quad D_{ww} = \sqrt{\frac{24,16 \times 4}{1,9 \times 3,14}}$$

Dengan langkah perhitungan diatas, maka dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4 6 juga terlampir pada lampiran I halaman 2 didapatkan hasil diameter pipa air laut permukaan dan pipa air laut kedalaman 700 untuk pembangkit listrik tenaga panas laut bertenaga 5 mW, 10 mW, 50 mW, disetiap lokasi OTEC yang telah ditentukan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil perhitungan diameter pipa air laut kedalaman 700 m.

No.	Lokasi	Diameter pipa air laut kedalaman 700 m (m)		
		5 MW	10 MW	50 MW
1	Laut Flores, Bali Bima	2,30	3,30	7,20
2	Samudera Hindia, Timor	2,20	3,10	6,90
3	Banda	2,40	3,40	7,50
4	L. Banda, Bandaneira	2,20	3,10	6,90
5	Selat Makasar, Majene	2,40	3,40	7,50
6	P. Talaud	2,20	3,10	6,90

Tabel 4 6 Hasil Perhitungan Diameter Pipa Air Laut Permukaan

No.	Lokasi	Diameter pipa air laut permukaan (m)		
		5 MW	10 MW	50 MW
1	Laut Flores, Bali Bima	4,10	5,70	12,80
2	Samudera Hindia, Timor	3,90	5,50	12,20
3	Banda	4,30	6,00	13,40
4	L. Banda, Bandaneira	3,90	5,50	12,20
5	Selat Makasar, Majene	4,30	6,00	13,40
6	P. Talaud	3,90	5,50	12,20

Untuk mengurangi banyaknya desain model maka penulis mengambil dimensi pipa air laut permukaan dan air laut kedalaman yang terbesar pada tiap lokasi untuk tiap pembangkit OTEC yang ada pada penelitian ini. Berikut merupakan diameter pipa yang diambil pada tiap pembangkit OTEC.

Tabel 4.7 Diameter pipa air laut permukaan dan kedalaman 700 m yang diambil.

No	P _{net} (MW)	Diameter Pipa Air Laut Permukaan (m)	Diameter Pipa Air Laut Kedalaman 700 m (m)
1	5	4,1	2,3
2	10	6	3,3
3	50	13,4	7,5

Hasil diameter pipa yang didapatkan dibandingkan dengan penelitian yang telah ada sebelumnya untuk diverifikasi apakah memiliki rasio persamaan yang tidak terlalu jauh.

Berikut pada Tabel 4.8 merupakan dimensi pipa air laut permukaan dan air laut dalam pada penelitian lainnya.

Tabel 4.8 Hasil Dimensi pipa pada penelitian lainnya.

No	P _{net} (MW)	Pipa Air Laut Permukaan (m)	Pipa Air Laut Kedalaman 700 m (m)	Sumber
1	5	3	2,8	(Vega, 2003)
2	10	7	3,9	(Vega, 2012)
3	50	15	8,7	(Vega, 2010)

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa hasil dimensi pipa yang telah dihitung pada tiap pembangkit dan dimensi pipa pada penelitian yang ada sebelumnya tidak memiliki perbedaan yang banyak.

Kedua jenis pipa air laut pada OTEC memiliki tinggi kedalaman laut berbeda, kedalaman pipa air laut dalam diambil dari penelitian yang telah dilakukan dan telah dikelola oleh BPPT yang menunjukkan bahwa kedalaman yang diperlukan untuk menyentuh ΔT lebih dari 20 derajat adalah 700 m (Mukhtasor, 2014). Lalu untuk pipa air permukaan diambil ketinggian yang diperlukan dengan menggunakan hasil penelitian yang sudah ada sebelumnya yaitu mencapai kedalaman 20 m. (Vega, 2012). Diameter tersebut berlaku untuk semua pembangkit yang ada di penelitian ini.

Selain kedua pipa tersebut, terdapat satu pipa (*mixed water discharged*) yang menyalurkan campuran air laut dan air laut permukaan dan air laut kedalaman yang telah melewati proses perpindahan panas keluar dari badan kapal. Pipa tersebut memiliki kedalaman 60 m, hal ini dikarekan untuk menghindari gangguan lingkungan (Vega, 2012). Dimensi pipa tersebut diambil dari penelitian sebelumnya. Berikut pada Tabel 4.9 merupakan dimensi pipa keluarnya air laut campuran.

Tabel 4.9 Dimensi Pipa air laut campuran (mixed water discharged pipe).

No.	P _{net}	<i>Mixed Water Discharged Pipe</i>	
		Diameter (m)	Sumber
1	5	5.5	(Vega, 2003)
2	10	5.5	(Vega, 2012)
2	50	12.3	(Vega, 2010)

4.3 Dimensi Penukar panas (*Heat Exchanger*) dan Turbin Generator

Heat exchanger pada sistem OTEC dibagi dua macam yaitu *evaporator* dan *condensor*. Dimensi utama dari kedua penukar panas tersebut diambil dari penelitian yang sudah ada sebelumnya pada pembangkit OTEC berukuran 5 mW, 10 mW, 50 mW, . Dimensi utama penukar dan turbin generator dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut dibawah ini (Vega, 2012).

Tabel 4.10 Dimensi utama *heat exchanger* dan *turbine generator*. (Vega, 2012).

CORE DIMENSIONS					
No.	Item	L (m)	W (m)	H (m)	MW
1	Evaporator	6,1	1	4	1
2	Condensor	6,1	1	4	1
TURBINE DIMENSIONS					
1	Nh ₃ Turbine (5 mW)	17	4	4	4
2	Nh ₃ Turbine (10 mW)	17	4	4	4
4	Nh ₃ Turbine (50 mW)	12	8	5	16

Seperti yang dilihat pada Tabel 4.10 diatas tiap dimensi satu modul *heat exchanger* (HE)r dapat menghasilkan energi listrik 1 mW dan penggunaan turbin generator untuk pembangkit 5 mW dan 10 mW dapat menghasilkan listrik sebesar 4 mW, lalu pembangkit 50 mW dan dapat menghasilkan listrik sebesar 16 mW. Untuk memenuhi desain energi yang dihasilkan maka digunakan banyak modul, contohnya pada pembangkit OTEC 5 mW dengan ditambah P_{gross} sebesar 30 % diperlukan 8 modul *heat exchanger* dan 2 modul turbin generator. Dimensi utama dari satu modul *heat exchanger* belum ditambahkan dengan perkiraan pemasangan konstruksi, sehingga ditambahkan dengan perkiraan pipa dan konstruksi lainnya. Berikut jumlah evaporator, condensor dan turbin generator yang diambil berdasarkan banyaknya modul yang diperlukan dan perencanaan penambahan konstruksi.

Tabel 4 11 HE dan TG. yang dibutuhkan tiap pembangkit.

Evaporator dan Condensor				NH ₃ Turbine
No.	Pnet (MW)	P _{gross}	Quantity	
1	5	7	8	2
2	10	14	14	4
3	50	70	72	6

4.4 Sketsa Dimensi Utama *OTEC Barge*

Dalam melakukan sketsa ukuran utama awal, penulis menggunakan metode *parent based design*. Dimana digunakannya dasar desain ukuran utama awal kapal pembanding untuk menjadi landasan ukuran utama awal (Watson, 2002). Ukuran utama awal didapatkan dari penelitian yang sudah ada sebelumnya pada tiap pembangkit. Berikut pada Tabel 4 12 data ukuran utama awal kapal pembanding.

Tabel 4 12 Data kapal pembanding tiap pembangkit.

Main Dimensions by Reference								
No	Reference	Pnet	L(m)	B(m)	H(m)	T(m)	Cb	Displ.(ton)
1	Pre-Commercial Plant by Vega	5	122	30	16	9	0,971	32000
2	CC-OTEC by Vega	10	90	32	16	9	0,979	26000
3	LDVM 50 mW by Vega	50	198	39	24	16	0.98	124108

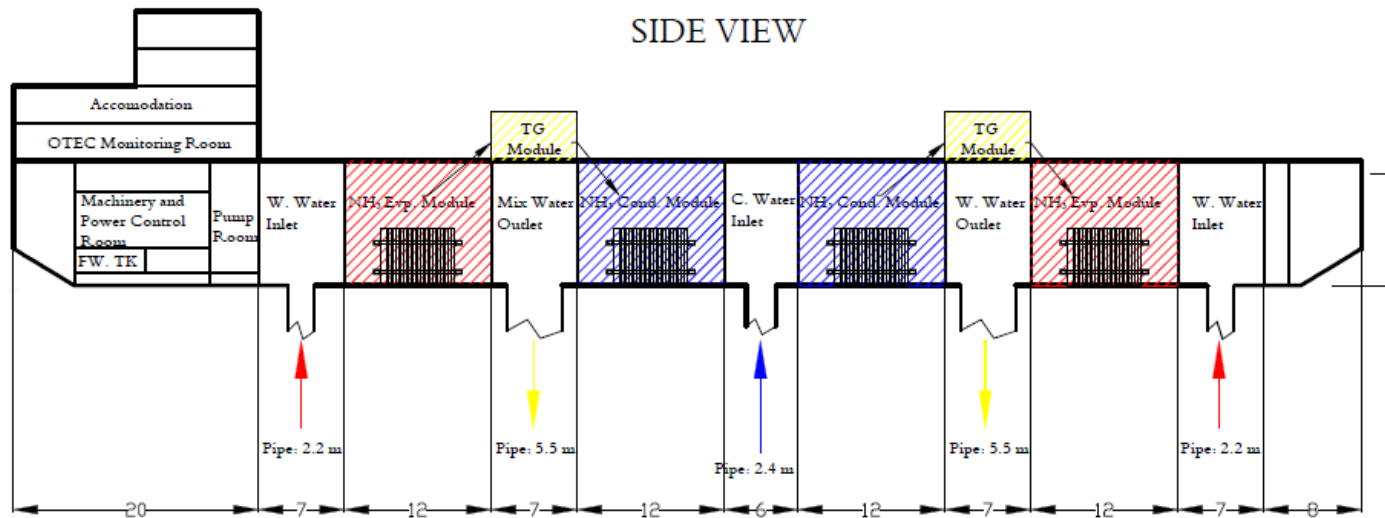
Setelah mendapat data ukuran utama pembanding maka selanjutnya perlu dilakukan penyesuaian atau modifikasi terhadap berapa besar dimensi *riser*, *heat exchanger* dan turbin, maka langkah selanjutnya dalam menentukan ukuran utama kapal adalah melakukan sketsa tangki-tangki yang dibutuhkan untuk menyimpan modul HE dan T/G dan juga mensketsa jumlah volume tangki air laut yang dibutuhkan. Besar volume tangki air laut diambil dari penelitian yang sudah ada sebelumnya. Sketsa gambar dapat dilihat pada gambar Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3.

Sepeti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa masing masing *OTEC barge* memiliki banyak *heat exchanger* dan *turbine generator* yang berbeda-beda, hal ini dapat dilihat dari banyaknya tingkatan evaporator dan condensor. Perbedaan jumlah HE dan TG inilah yang memicu perbedaan dimensi tiap pembangkit dengan berubahnya panjang dan tinggi dari tiap pembangkit. Pada tampak samping (*side view*) terlihat tingkatan evaporator/condenser pada bagian HE yang diarsir hitam, satu tingkatan HE dapat dilihat dari adanya 2 pengikat mur, seperti yang terlihat pada sketsa pembangkit berukuran 5 MW. Pada tampak atas (*top view*) terlihat banyaknya unit HE yang digunakan, satu unit evaporator/condenser dapat dilihat dari satu alat HE yang diarsir. Pada pembangkit berukuran 5 MW dapat dilihat satu tangki area evaporator/condenser memiliki 2 unit HE.

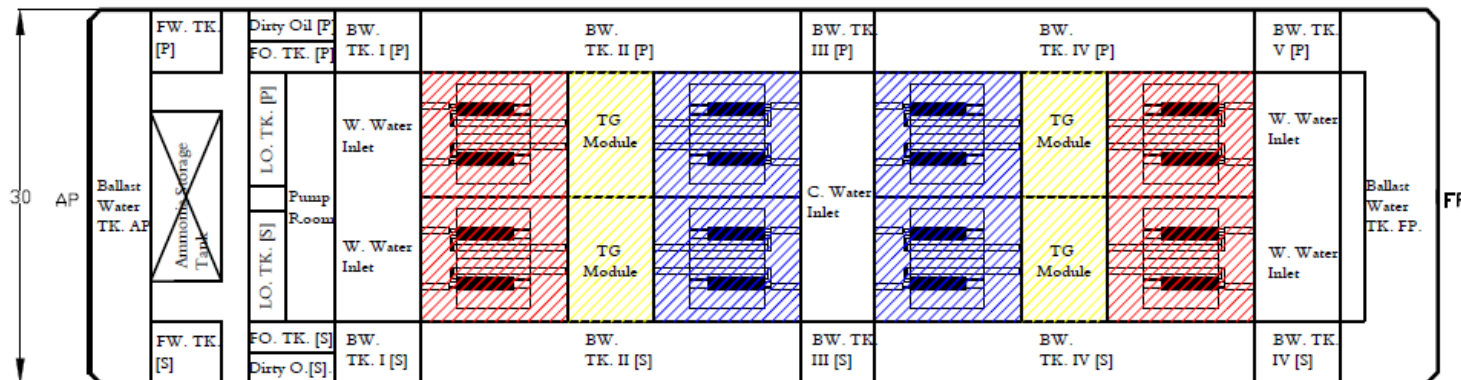
Pada sketsa ini juga dijelaskan bahwa adanya penambahan bangunan akomodasi dan sekat tubrukan pada tiap pembangkit, berbeda dengan sketsa penelitian sudah ada sebelumnya yang telah dijelaskan pada Bab 2, hal ini tentu saja akan menambah ukuran panjang *OTEC barge* contoh yang dipakai.

OTEC PLANT BARGE 5MW

SIDE VIEW



TOP VIEW



MAIN DIMENSIONS

Lpp	= 110 m
Breadth	= 30 m
Height	= 10 m
Draught	= 5 m
Cb	= 0.96

GLOBAL VOLUME (L x W x H)

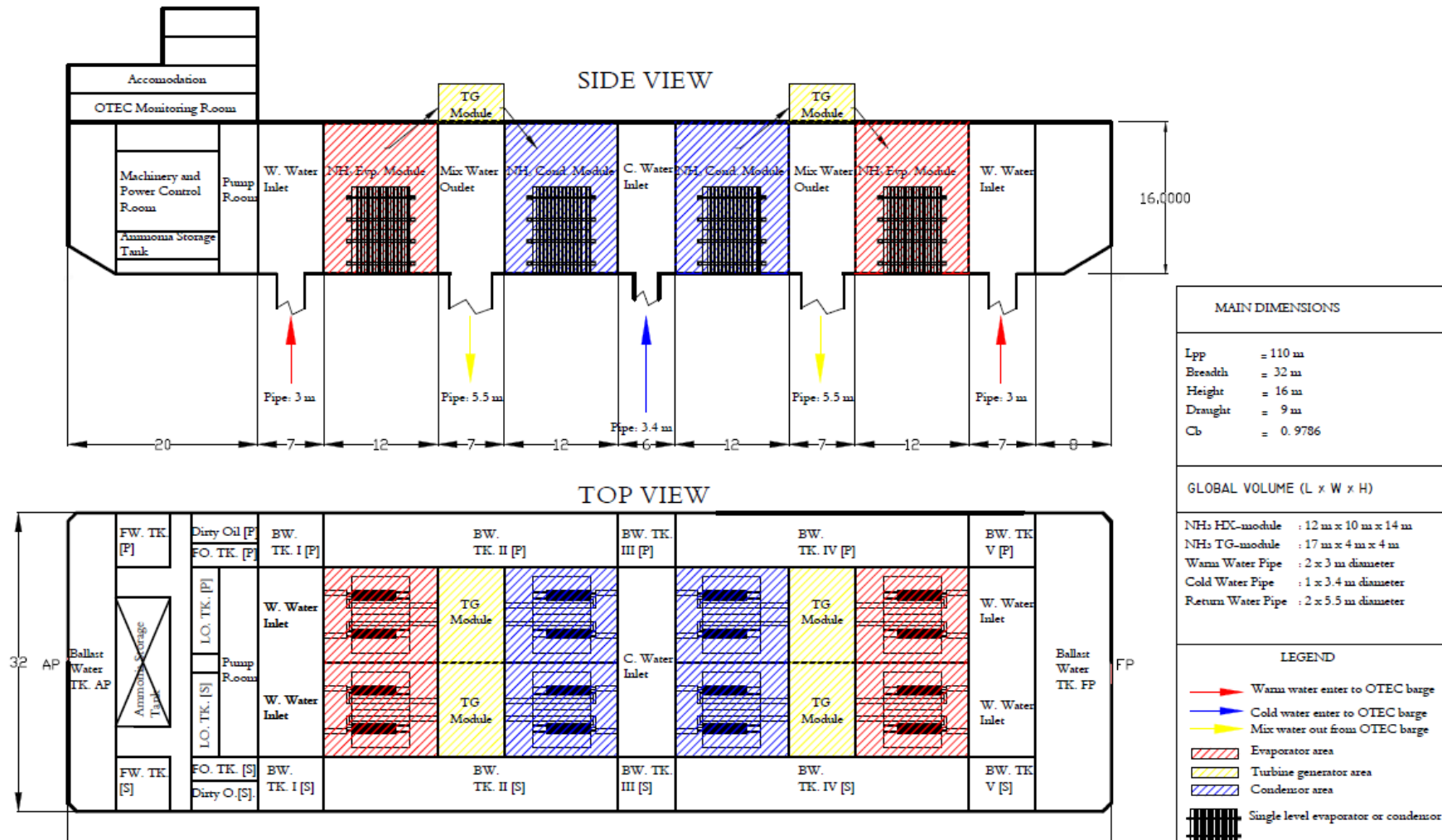
NH ₃ HX-module	: 12 m x 10 m x 7 m
NH ₃ TG-module	: 17 m x 4 m x 4 m
Warm Water Pipe	: 2 x 2.2 m diameter
Cold Water Pipe	: 1 x 2.4 m diameter
Return Water Pipe	: 2 x 5.5 m diameter

LEGEND

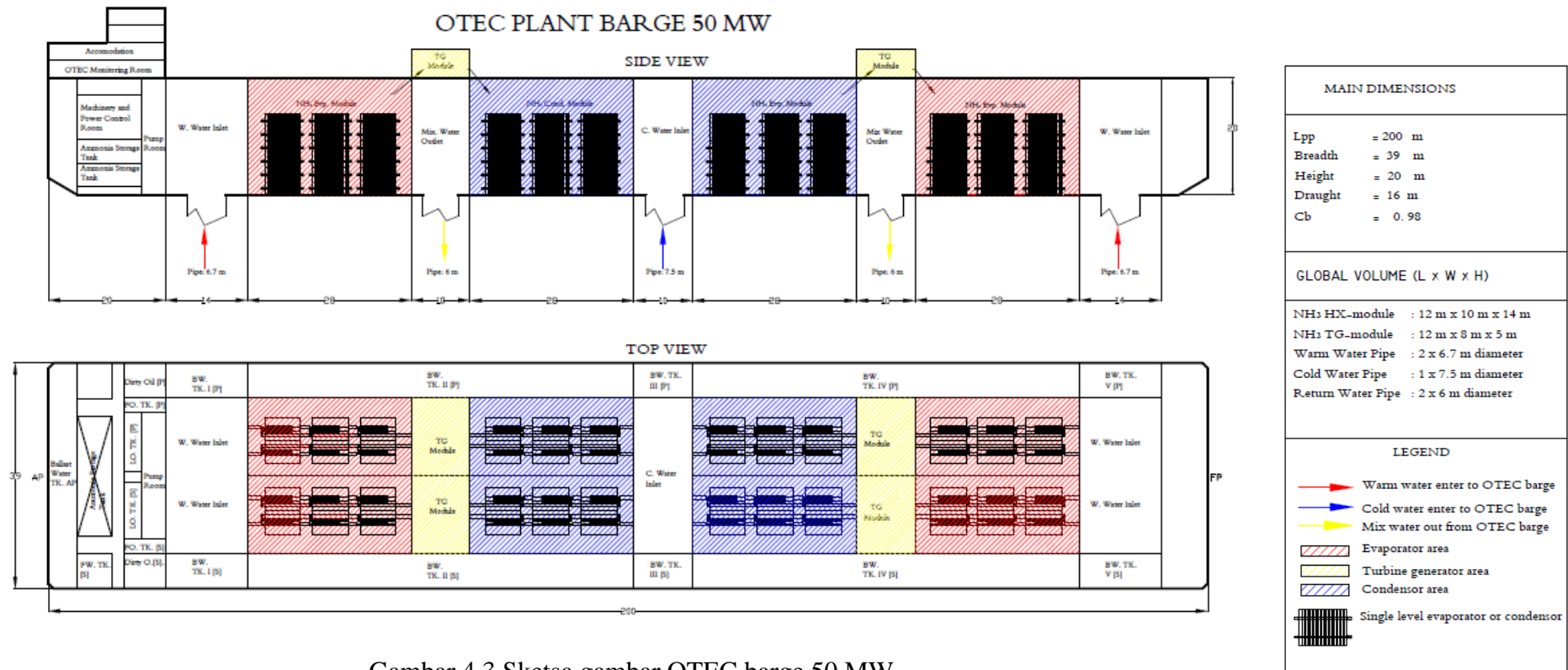
	Warm water enter to OTEC barge
	Cold water enter to OTEC barge
	Mix water out from OTEC barge
	Evaporator area
	Turbine generator area
	Condensor area
	Single level evaporator or condensor

Gambar 4.1 Sketsa gambar OTEC barge 5 MW.

OTEC PLANT BARGE 10MW



Gambar 4.2 Sketsa gambar OTEC barge 10 MW.



Gambar 4.3 Sketsa gambar OTEC barge 50 MW.

Tabel 4 13 Hasil penambahan dimensi OTEC barge.

No.	P _{net} (MW)	Number of core modules	Main Dimensions				
			L	B	H	T	Cb
1	5	8	110	30	9	5	0,97
2	10	16	110	32	16	9	0,97
3	50	65	200	39	20	16	0,98

Dapat dilihat pada Tabel 4 13 terjadi penambahan ukuran panjang pada ukuran utama awal yang didapatkan dari data kapal pembanding yang sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 4 12. Penambahan ukuran utama dengan spesifik variabel panjang yang ditambahkan dikarenakan hal-hal berikut:

1. Pada kapal pembanding belum disertakan bangunan untuk akomodasi
2. Belum ada penambahan ukuran utama dikarekan sekat tubrukan
3. Adanya perbedaan ukuran diameter *riser*.

Sekat tubrukan ditambahkan pada sketsa desain dikarenakan adanya peraturan klasifikasi Indonesia yaitu BKI yang mengatur bahwa semua kapal harus memiliki sekat tubrukan. Berikut pada Tabel 4 14 merupakan contoh perhitungan pada pembangkit berukuran 5 mW. Perhitungan tersebut terlampir dan dapat dilihat di Lampiran I halaman 5.

Tabel 4 14 Contoh perhitungan minimal dan maksimal panjang sekat tubrukan.

Minimum I:		$0,05 L_c$
Lc Not less than =		0.05×110
Lc Not less than =		5.5 m
Maximum I:		$0,08 L_c$
Lc Not Greater than =		0.08×110
Lc Not Greater than =		8.8 m
Maximum II:		$0,05 L_c + 3$
Lc Not Greater than =		$0.05 \times 110 + 3$
Lc Not Greater than =		8.5 m

Tabel 4 15 Panjang sekat tubrukan OTEC barge tiap MW.

Collision Bulkhead Minimum By BKI						
No.	Pnet	Mimimum (1) [m]	Minimum (2) [m]	Maximum (2) [m]	Maximum (1) [m]	Taken [m]
1	5	5,5	10	8,5	8,8	8
2	10	5,5	10	8,5	8,8	8
3	50	10	10	13	16	10

Setelah didapatkan dimensi ukuran utama yang telah sesuai terhadap penempatan HE, TG, akomodasi dan sekat tubrukan maka selanjutnya dimensi otec barge dilakukan verifikasi rasio ukuran utama.

4.5 Pemeriksaan Ukuran Utama *OTEC Barge*

Pemeriksaan rasio ukuran utama *OTEC barge* perlu dilakukan untuk memeriksa apakah secara kekuatan dan stabilitas *OTEC barge* tersebut dapat beroperasi dengan baik. Rasio ukuran utama *OTEC barge* yang akan diperiksa adalah L/B, L/T, B/T. Menggunakan nilai persyaratan dari (Lewis, 1988). Berikut pada Tabel 4 16 merupakan contoh perhitungan untuk pembangkit 5 MW, perhitungan terlampir pada lampiran I halaman 6.

Tabel 4 16 Contoh perhitungan pengecekan rasio ukuran utama *barge* 5 MW.

Lo/Bo = 110/30	= 3.67	PASS	$3.4 < L/B < 10$
Lo/To = 110/5	= 22	PASS	$10 < L/T < 30$
Bo/To = 30/5	= 6	PASS	$1.8 < B/T < 10$

Tabel 4 17 Hasil rekapitan perhitungan rasio ukuran utama kapal

No.	Pnet	L/B	Status	L/T	Status	B/T	Status
1	5	3.67	PASS	22.00	PASS	6	PASS
2	10	3.44	PASS	12.22	PASS	3.56	PASS
3	50	5.13	PASS	12.50	PASS	2.44	PASS

Dapat dilihat pada Tabel 4 17 bahwa hasil dari semua pengecekan rasio ukuran utama kapal terlewati. Sehingga proses desain *OTEC barge* tiap pembangkit dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya.

4.6 Perhitungan Koefisien, LCB dan Displasemen

Untuk menuju analisis selanjutnya maka perlu diketahui nilai koefisien-koefisien (C_b , C_m , C_p), nilai displasemen dan titik apung dari *OTEC barge*. Perhitungan ini menggunakan rumus-rumus pendekatan yang diambil dari buku Parametric design (Watson, 1998). Hasil dari perhitungan ini di rekapitulasi di Tabel 4 19. Perhitungan terlampir pada lampiran I halaman 6.

Tabel 4 18 Contoh perhitungan koefisien utama OTEC *barge* 5 MW.

$C_m = \text{midship coefficient}$ $= 1.006 - 0.0056 C_b^{-3.56}$		[H. Schneekluth and V. Bertram]
$C_m = 1.006 - 0.0056 \times (0.97)^{-3.56}$		
$C_m = 0.99$		
$C_p = 0.97 / 0.99$		
$C_p = 0.971$		
$LCB = -13.50 + 19.4 \times 0.97$		
LCB = 5.35 m	Dari Midship	$LCB = -13.5 + 19.4 C_p$
LCB = 60.35 m	Dari AP	

Tabel 4 19 Rekapitulasi perhitungan Koefisien, LCB dan Displasemen

No.	Pnet	∇ Ton	Cm	Cp	LCB (m)	
					Midship	AP
1	5	16429.87	0.99979	0.97166535	5.35031	60.4
2	10	31777.78	0.99995	0.97866772	5.48615	54.9
3	50	125361.6	0.99998	0.98001725	5.51233	106

4.7 Lightweight Calculation

Setelah mengetahui nilai daya apung yang dimiliki OTEC *barge* maka perlu mengetahui nilai berat yang dimiliki oleh OTEC *barge*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah total berat yang dimiliki OTEC *barge* sesuai dengan daya apung yang dimiliki OTEC *barge*. Seperti yang dijelaskan pada Bab2 terdapat dua komponen berat yang dimiliki OTEC *barge*, yaitu berat LWT dan DWT

Perhitungan *lightweight* (LWT) dibagi menjadi tiga bagian, yang pertama adalah menghitung *machinery weight*, kedua adalah *equipment and outfitting weight*, ketiga adalah *riser weight* dan yang keempat adalah *steel weight (superstructure and deckhouse weight, hull weight)*. Setelah menghitung ke-empat komponen tersebut maka di jumlahkan semua dan dapat diketahui nilai dari LWT.

4.7.1 Steel Weight

OTEC barge menggunakan bahan material baja, terdapat dua komponen pada berat baja ini, yaitu adalah berat baja badan kapal dan berat baja bangunan atas atau akomodasi. Untuk menghitung pasti nilai berat baja pada badan kapal beserta konstruksi dan sekat-sekat yang ada pada *OTEC barge* maka digunakan perhitungan dari klasifikasi ABS (ABS, 2015). Perhitungan dimulai dengan mencari nilai beban yang terjadi pada struktur *OTEC barge* lalu nilai tebal pelat, modulus yang digunakan dan yang terakhir adalah berat kapal. Rekapitan total berat baja pada tiap pembangkit dapat dilihat pada Tabel 4 21, Tabel 4 22Tabel 4 23 dan Tabel 4 23 terlampir pada Lampiran I halaman 7-9. Didapatkan berat total baja badan *OTEC barge* 5 MW, 10 MW, 50 MW sebesar 1065 ton, 1498 ton dan 3849 ton.

Tabel 4.20 Persamaan ukuran panjang dan lebar bangunan atas.

LAYER	PANJANG	LEBAR
I	20% Lpp	B
II	15% Lpp	B-3
III	10% Lpp	B-4
IV	7.5 % Lpp	B-6
<i>Wheel house</i>	5% Lpp	B-8

Tabel 4 21 Rekapitan berat badan baja *OTEC barge 5 MW*.

No.	Item	Luas dan Panjang		Jumlah	ukuran diambil		web(mm)		face(mm)		Berat	
1	pelat geladak	3300	m ²	1	9	mm					233	ton
2	pelat sekat memanjang	738	m ³	3	5	mm					29	ton
3	pelat alas	3168	m ²	1	11	mm					274	ton
4	pelat sisi	866	m ²	1	12	mm					82	ton
5	pelat sisi pada 0.1L	99	m ²	1	10	mm					8	ton
6	pelat alas pada 0.1L	330	m ²	1	10	mm					26	ton
7	pembujur geladak	110	m	49	100	cm ³	120	8	80	8	68	ton
8	pelintang geladak	30	m	43	189	cm ³	120	8	80	8	16	ton
9	pembujur sisi	110	m	28	186	cm ³	120	8	80	8	39	ton
10	pembujur alas	106	m	49	199	cm ³	120	8	80	8	65	ton
11	pelintang sisi	9	m	43	158	cm ³	120	8	80	8	5	ton
12	pelintang alas	29	m	36	158	cm ³	120	8	80	8	13	ton
13	pelat sekat tubrukan	270	m ²	1	9	mm					19	ton
14	pelat sekat kedap	270	m ²	1	8	mm					17	ton
15	pelat sekat melintang I	270	m ²	2	8	mm					34	ton
16	pelat sekat melintang II	180	m ²	6	8	mm					68	ton
17	pelat sekat melintang III	270	m ²	2	8	mm					34	ton
18	penegar sekat	9	m	588	956	cm ³	100	6	50	6	37	ton
Total steel weight										=	1065	ton

Tabel 4 22 Rekapitan berat badan Baja *OTEC barge 10 MW*.

No.	Item	Luas dan Panjang		Jumlah	ukuran diambil		web(mm)		face(mm)		Berat	
1	pelat geladak	3520	m ²	1	9	mm					249	ton
2	pelat sekat memanjang	1312	m ³	3	5	mm					51	ton
3	pelat alas	3379	m ²	1	11	mm					292	ton
4	pelat sisi	1550	m ²	1	12	mm					146	ton
5	pelat sisi pada 0.1L	176	m ²	1	10	mm					14	ton
6	pelat alas pada 0.1L	352	m ²	1	10	mm					28	ton
7	pembujur geladak	110	m	53	100	cm ³	120	8	80	8	73	ton
8	pelintang geladak	32	m	43	342	cm ³	120	8	80	8	17	ton
9	pembujur sisi	110	m	52	304	cm ³	120	8	80	8	72	ton
10	pembujur alas	106	m	53	326	cm ³	120	8	80	8	70	ton
11	pelintang sisi	9	m	43	259	cm ³	120	8	80	8	5	ton
12	pelintang alas	31	m	36	259	cm ³	120	8	80	8	14	ton
13	pelat sekat tubrukan	512	m ²	1	11	mm					44	ton
	pelat sekat kedap	512	m ³	1	10	mm					40	ton
14	pelat sekat melintang I	512	m ²	2	10	mm					80	ton
	pelat sekat melintang II	320	m ²	6	10	mm					151	ton
	pelat sekat melintang III	512	m ²	2	10	mm					80	ton
15	penegar sekat	16	m	628	5368	cm ³	100	6	50	6	71	ton
Total steel weight										=	1498	ton

Tabel 4 23 Rekapitan berat badan Baja *OTEC barge 50 MW*

No.	Item	Luas dan Panjang		Jumlah	ukuran diambil		web(mm)		face(mm)		Berat	
1	pelat geladak	7800.000	m ²	1	11	mm					673.530	ton
2	pelat sekat memanjang	3400.000	m ³	3	10	mm					266.900	ton
3	pelat alas	7488.000	m ²	1	18.00	mm					1058.054	ton
4	pelat sisi	3497.268	m ²	1	16.00	mm					439.257	ton
5	pelat sisi pada 0.1L	400.000	m ²	1	12.00	mm					37.680	ton
6	pelat alas pada 0.1L	780.000	m ²	1	12.00	mm					73.476	ton
7	pembujur geladak	200.00	m	64	161.00	cm ³	120	8	80	8	160.768	ton
8	pelintang geladak	39.000	m	79	604.00	cm ³	120	8	80	8	38.697	ton
9	pembujur sisi	200.000	m	65	371.00	cm ³	120	8	80	8	163.280	ton
10	pembujur alas	192.000	m	64	398.00	cm ³	120	8	80	8	154.337	ton
11	pelintang sisi	20.000	m	79	316.00	cm ³	120	8	80	8	19.845	ton
12	pelintang alas	37.440	m	66	316.00	cm ³	120	8	80	8	31.036	ton
13	pelat sekat tubrukan	780.000	m ²	1	13.00	mm					79.599	ton
14	pelat sekat kedap	780.000	m ³	1	11.00	mm					67.353	ton
15	pelat sekat melintang I	780.000	m ²	2	11.00	mm					134.706	ton
16	pelat sekat melintang II	400.000	m ²	6	11.00	mm					207.240	ton
17	pelat sekat melintang Iii	780.000	m ²	2	11.00	mm					134.706	ton
18	penegar sekat	20.000	m	768	10484.00	cm ³	100	6	50	6	108.518	ton
Total steel weight										=	3848.983	ton

Terdapat 5 deckhouse dan 2 superstructure pada tiap pembangkit, tiap bangunan dicari nilai ukuran panjang tinggi dan lebar. Berikut pada Tabel 4 24 merupakan contoh perhitungan berat baja SS dan DH pada pembangkit *OTEC barge 5 MW*.

Tabel 4 24 Contoh perhitungan berat *superstructure* dan *deckhouse* OTEC barge 5 MW.

Poop			
panjang (Lp)	=	20.000 m	
lebar (Bp) = selebar kapal	=	30.000 m	
tinggi (hp) = 2.5 – 3.5 m	=	3 m	
V _{Poop} = Lp.Bp.hp	=	1800 m ³	
W _p = V _p x C _p			
W _p =	1800.0 x 0.075		
W _p =	135 ton		
Forecastle			
panjang (L _{fc}) = 10%.L	= 11	m (minimal)	
panjang (L _{fc})	= 11.000	m (diambil)	
lebar (B _{fc}) = selebar kapal	= 30.000	m	
tinggi (h _{fc}) = 2.5 – 3.5 m	= 2.5	m	
V _{Forecastle} = 0,5.L _f .B _f .h _f	= 412.5	m ³	
W _{fc} = V _f x C _f			
W _{fc} =	412.5 x 0.1		
W _{fc} =	41.25 ton		
Layer II			
L = 15% x lpp			
	= 16.5	m (minimal)	
L =	16.5	m (diambil)	
B =	26.00	m	
H =	2.5	m	
Volume =	1072.5	m ³	
C _s =	0.07		
W ₂ =	75.075	ton	

Setelah didapatkan nilai berat masing masing bangunan atas maka langkah selanjutnya dijumlahkan semua, berikut pada Tabel 4 24 hasil rekapan perhitungan berat tersebut.

Tabel 4.25 Rekapan hasil perhitungan berat baja Superstructure & deckhouse

No.	P _{net}	W _{ss} (ton)		W _{dh}		TOTAL (W _{SS&DH})
		W _p (ton)	W _{fc} (ton)	Total W _{dh} (ton)	W _{trunk} [ton]	
1	5	135	41.25	189.175	49	414.425
2	10	144	44	204.05	49	441.05
3	50	175.5	53.625	256.1125	92.75	577.9875

4.7.2 Equipment and Outfitting Weight

Perhitungan ini menggunakan rumus pendekatan (Schneekluth & Betram, 1998) dari Perhitungan ini terbagi dua grup yaitu:

Tabel 4 26 Kategori perhitungan E&O.

No.	Group III (<i>Living Quarter</i>)	Group IV (<i>miscellaneous</i>)
1	<i>Cabin dan corridor wall (jika tidak terbuat dari baja)</i>	<i>Anchor – handling, and mooring winches, chocks, bollard, hawse pipes</i>
2	<i>Deck covering, wall and deck ceiling dengan insulasi</i>	<i>Steering gear, wheelhouse console, controle console (excluding rudder body)</i>
3	<i>Sanitary installation and associated pipes.</i>	<i>Refrigeration plant.</i>
4	<i>Heating, ventilation, air – conditioning and associated pipes and trunking</i>	<i>Protection, deck covering outside accomodation area</i>
5	<i>IKitchen, household, and steward inventory.</i>	<i>Davits, boats and live crafts plus mounting.</i>
6	<i>Furniture, accommodation inventory</i>	<i>Railings, gangway, ladder, stairs, ladders, doors, (outside accoimodation area), manhole cover.</i>
7		<i>Awning support, tarpaulins</i>

Pada persamaan 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa perhitungan berat E&O pada *living quarter* didasarkan pada fungsi luas geladak akomodasi atau volum *deck house*. Setelah mengetahui volume dari tiap bangunan akomodasi maka volum tersebut dikalikan dengan koefisien berat E&O yang diambil dari persamaan scheneekluth.

Rumus:

$$W_{LV} = C_{LV} \cdot A_{LV} \cdot 10^{-3} \quad \text{atau} \quad (4.1)$$

$$W_{LV} = C_{VLV} \cdot V_{LV} \cdot 10^{-3} \quad [\text{ton}] \quad (4.2)$$

, dimana:

A_{LV} = luas geladak akomodasi

V_{LV} = volume *poop deck & deck house*

C_{LV} = diambil 170 kg/m²

Lalu pada perhitungan pada group IV didasarkan pada nilai ukuran utama (LPP, B, dan H), dengan rumus sebagai berikut:

$$\sqrt[3]{(L_{PP} \cdot B \cdot H)^2 \cdot C} \quad (4.3)$$

Dengan nilai C sebesar 0.2 ton/m². Berikut pada Tabel 4.27 merupakan rekapan hasil perhitungan berat *equipment & outfitting weight* pada tiap pembangkit dan terlampir pada lampiran I halaman 10-11.

Tabel 4.27 Rekapan hasil perhitungan berat E&O.

Total Berat E&O Barge				
No.	P _{net}	Group III (Ton)	Group IV (Ton)	Total (Ton)
1	5	744.770	77.07139547	821.841
2	10	796.620	77.07139547	873.691
3	50	1574.795	77.07139547	1651.866

4.7.3 Machinery Weight

Perhitungan permesinan pada OTEC *barge* dibagi menjadi tiga komponen yaitu, komponen pertama adalah unit system OTEC, kedua adalah Unit elektrik, ketiga adalah Unit lain-lain. Unit system OTEC terdiri dari alat pendukung utama OTEC dalam hal menghasilkan listrik yaitu *heat exchanger* dan *turbine* generator. Unit elektrik merupakan mesin generator untuk menghidupkan awal istem pompa pada OTEC dan sebagai generator listrik cadangan.

Untuk komponen pertama nilai berat didapatkan dari nilai berat satuan evaporator, condenser dan turbin generator dari spesifikasi teknis. Sedangkan unit elektrik dan unit lain-lain didapatkan menggunakan persamaan pendekatan (Schneekluth & Betram, 1998). Berikut merupakan hasil rekapan perhitungan berat permesinan pada Tabel 4 28 dan dapat dilihat pada Lampiran I halaman 12-13

Tabel 4 28 Rekapan hasil perhitungan berat permesinan OTEC *barge*.

No.	P _{net} (MW)	Total Weight of HE (ton)	Total Weight of TG (ton)	W _{gs} (ton) dua unit	W _{ot} (ton)	TOTAL (ton)
1	5	960	180	60.112	80	1280.112
2	10	1920	360	120.448	160	2560.448
3	50	8640	600	611.2	800	10651.2

4.7.4 Riser Weight

Berat *riser* didapatkan dengan menggunakan diameter pipa yang telah didapatkan pada tiap pembangkit lalu dicari luas permukaan dan volume pada masing-masing pipa. Setelah itu dikalikan dengan masa jenis *riser*. *Riser* menggunakan bahan FRP (*Fiber*

reinforced polymer), *riser* memiliki 3 lapisan yang memiliki masa jenis dan ketebalan berbeda-beda. Lapisan pertama merupakan lapisan laminasi dengan ketebalan 14-15 mm dan lapisan kedua merupakan *syntactic foam* memiliki ketebalan 50-140 mm dan lapisan ketiga yang sama dengan lapisan pertama (Vega, 2012). Berikut rekap hasil perhitungan berat riser pada Tabel 4 28 dan terlampir pada Lampiran I halaman 14-15

Tabel 0.1 Rekap hasil perhitungan berat *riser* pada masing masing *OTEC barge*.

No.	P _{net} (mW)	W _{CW} [ton]	W _{WW} [ton]	W _{MW} [ton]	Total [ton]
1	5	1481.88	123.76	254.04	1859.68
2	10	1481.88	123.76	254.04	1859.68
3	50	1485.56	123.97	254.67	1864.20

4.8 Deadweight Calculation

Setelah mengetahui nilai daya apung yang dimiliki *OTEC barge* maka perlu mengetahui nilai berat yang dimiliki oleh *OTEC barge*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah total berat yang dimiliki *OTEC barge* sesuai dengan daya apung yang dimiliki *OTEC barge*. Seperti yang dijelaskan pada Bab2 terdapat dua komponen berat yang dimiliki *OTEC barge*, yaitu berat LWT dan DWT

Berat deadweight dibagi beberapa komponen, yaitu komponen pertama adalah komponen *crew&consumable*, *mass flow fluid on board* dan *fixed ballast*. Komponen pertama menjelaskan berapa banyak awak yang dibutuhkan dan berat dari kebutuhan awak seperti makanan dan minuman lalu sumber tenaga listrik cadangan atau listrik untuk memulai system *OTEC*. Komponen kedua merupakan berapa banyak fluida yang ada di kapal, yaitu berupa ammonia dan air laut yang digunakan untuk mentransfer suhu. Komponen ketiga merupakan air ballast tambahan untuk menjaga kapal tetap diposisi draft yang diinginkan sehingga dapat menjaga stabilnya *OTEC barge* lebih baik.

4.8.1 Crew and consumable

Perhitungan jumlah *crew*, menghitung berat *crew* dan barang bawaan ($W_{C\&E}$) dapat menggunakan rumus pendekatan *Parson* (2001), pada buku *Parametric Design Chapter 11*, hal 11-25. Nilai BHP (*break horse power*) diambil dari nilai Ploss ($P_{gross} - P_{nett}$). Pertama-tama langkah yang dilakukan adalah menghitung berapa awak kapal yang dibutuhkan

dengan menggunakan persamaan 4.4, lalu selanjutnya dapat mencari berat awak OTEC barge dengan menggunakan persamaan 4.5. Berikut merupakan hasil rekapitan perhitungan berat awak OTEC barge untuk tiap pembangkit pada Tabel 4 29 dan terlampir pada Lampiran I halaman 28.

$$Z_c = C_{st}.C_{dk}.(L.B.H.35/105)^{1/6} + C_{eng}.(BHP/105)^{1/3} + cadet \quad (4.4)$$

$$W_{C\&E} = 0.17 Z_c \quad [\text{ton}], \quad C_{C\&E} = 0.17 \text{ ton/orang} \quad (4.5)$$

Tabel 4 29 Rekapitulasi hasil perhitungan berat awak OTEC barge.

No.	Ploss (KW)	Main Dimensions				Jumlah Crew	W _{C&E} (ton)
		L (m)	B (m)	H (m)	T (m)		
1	2000	110	30	9	5	22	3.74
2	4000	110	32	16	9	25	4.25
3	20000	200	39	16	9	31	5.27

Menurut *Parson* (2001) kebutuhan bahan bakar dipengaruhi oleh konsumsi rata-rata bahan bakar dari mesin . Adapun langkah perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4 30.

Tabel 4 30 Contoh perhitungan berat consumable pada OTEC barge 5 MW.

W_{FO}	$= \frac{SFR \cdot MCR \cdot \frac{range}{V_s}}{margin}$	[ton]
SFR	$= \text{Specific Fuel Rate}$ $= 0.000190 \text{ [ton/kW hr]} \text{ untuk diesel engine}$	
MCR	$= P_B \text{ atau BHP [kW]}$	
$Margin$	$= 1.3 \sim 1.5$	
V_{FO}	$= \frac{W_{FO}}{\rho_{FO}} + \text{koreksi}$	$[m^3]$
V_{FO}	$= \text{volume fuel oil}$	
ρ_{FO}	$= \text{berat jenis fuel oil}$ $= 0.95 \text{ ton/m}^3$	
W_{LO}	$= BHP_{ME} \cdot b_{LO} \cdot \frac{S}{V_s} \cdot \text{margin}$	[ton]
b_{LO}	$= 1.2 \sim 1.6$	$[\text{gr/kW hr}]$
$Margin$	$= 1.3 \sim 1.5$	
V_{LO}	$= \frac{W_{LO}}{\rho_{LO}} + \text{koreksi}$	$[m^3]$
V_{LO}	$= \text{volume lubrication oil}$	
ρ_{LO}	$= \text{berat jenis lubrication oil}$	$= 0.9 \text{ ton/m}^3$
Koreksi:		
Tambahan konstruksi	$= + 2\%$	
Ekspansi panas	$= + 2\%$	

Berikut merupakan hasil rekapan perhitungan berat bahan bakar unit elektrik dan berat minyak pelums untuk tiap pembangkit pada Tabel 4.31 dan Tabel 4.32 juga terlampir pada Lampiran I halaman 28-29.

Tabel 4.31 Rekapitulasi perhitungan berat bahan bakar dan berat minyak pelumas.

No.	P_{loss} (KW)	W_{FO} (ton)	W_{LO} (ton)
1	2000	24.312	14.8204303
2	4000	48.624	29.6408607
3	20000	243.12	148.204303

Tabel 4.32 Rekapitulasi perhitungan berat air tawar.

No.	P_{loss} (KW)	P_{loss} (HP)	W_{FW1} (ton)	W_{FW2} (ton)	$W_{FWtotal}$ (ton)
1	2000	2719.239	2.76775965	13.59619	16.36395
2	4000	5438.477	3.14518142	27.19239	30.33757
3	20000	27192.39	3.90002496	135.9619	139.862

Setelah didapatkan semua masing masing berat yang termasuk dalam komponen *crew and consumable* maka dapat ditotal menjadi berat *crew and consumable*, berikut rekapan hasil perhitungan berat tersebut pada Tabel 4.33 dan terlampir pada Lampiran I halaman 29.

Tabel 4.33 Rekapitulasi hasil berat crew and consumable pad tiap pembangkit.

No.	P_{net} (mW)	$W_{C\&E}$ (ton)	W_{FO} (ton)	W_{LO} (ton)	$W_{FWtotal}$ (ton)	W_{PR} (ton)	W_{tot} (ton)
1	5	3.74	24.3120008	14.82043	16.36395	0.553552	59.78994
2	10	4.25	48.6240015	29.64086	30.33757	0.629036	113.4815
3	50	5.27	243.120008	148.2043	139.862	0.780005	537.2363

4.8.2 Mass flow of Fluid on Board

Terdapat 2 macam fluida pada kapal yaitu air laut dan ammonia. Air laut yang ada dikapal dibagi menjadi 3 tangki yaitu tangka air dingin, tangka air permukaan dan tangka air campuran yang akan keluar dari kapal. Berat ammonia diambil dari penelitian yang sudah ada dan ditambahkan 50% untuk menjadi ammonia cadangan. Berikut rekapan hasil perhitungan berat tersebut pada Tabel 4 34 dan terlampir pada Lampiran I halaman 30-31.

Tabel 4 34 Berat ammonia

No.	Reference	Pnet	Weight of Ammonia (W _{AM}) Ton	50%	Total
1	Pre-Commercial Plant by Vega	5	45	22.5	67.5
2	CC-OTEC by Vega	10	90	45	135
3	50 mW OTEC Plant by Vega	50	450	225	675

Untuk berat *warm water*, *cold water*, *mix water* diambil dari volume tangki masing-masing dengan setinggi sarat yang telah di sketch dikalikan dengan masa jenis air laut. Berikut rekapan hasil perhitungan berat tersebut pada Tabel 4 35 dan terlampir pada Lampiran I halaman 30-31.

Tabel 4 35 Rekapitulasi hasil berat *mass flow of fluid on board* pad tiap pembangkit.

No.	Pnet (MW)	Weight of Ammonia (W _{AM}) Ton	Weight of Mix Water Discharge (W _{MW}) Ton	Weight of Warm Water (W _{ww}) Ton	Weight of Cold Water (W _{cw}) Ton	Total Weight (ton)
1	5	67.5	1435	1435	1230	4167.5
2	10	135	2583	2583	1107	6408
3	50	675	10321.75	14450.45	5160.875	30608.08

4.8.3 Fixed Ballast

Untuk menentukan *fixed ballast*, pertama-tama dilakukan pengukuran volume pada masing masing tangki ballast. Setelah itu maka dilakukan pengecekan selisih displasemen dan total LWT+DWT, sehingga diketahui berapa berat ballast yang harus diisi pada tangki ballast untuk memenuhi pengecekan displasemen dan LWT+DWT.

Tabel 4.36 Pengecekan selisih displasemen dan LWT+DWT untuk mencari *fixed ballast*

No.	Item	P _{net} (Mw)		
LWT (ton)		5	10	50
1	Machinery Plant Weight	1280.11	2560.45	10651.20
2	Equipment & Outfitting weight	821.84	873.69	1651.87
3	SS&DH Weight	414.43	441.05	577.99
1	Steel Weight	1065.41	1497.73	3848.98
4	Riser	1859.68	1859.68	1864.20
5	Total LWT	5441.46	7232.59	18594.24
DWT (ton)				
1	Mass Flow Fluid Onboard	4167.50	6408.00	30608.08
2	Crew & Consumable	59.79	113.48	537.24
3	Total DWT	4227.29	6521.48	31145.31

TOTAL LWT + DWT (ton)				
1	TOTAL LWT + DWT	9668.75	13754.07	49739.55
SELISIH DISPL & LWT+DWT				
1	Displasemen	16429.872	31777.78	125361.6
2	Hasil Selisih	6761.12	18023.71	75622.05

Pada sketsa gambar yang telah dilakukan, terdapat 10 tangki air ballast pada tiap pembangkit. Berikut volume masing masing tangki ballast tersebut. Pencarian volume tangki menggunakan komando dari *computer aided design* (CAD) *Software*. Berikut rekapitan hasil perhitungan berat tersebut pada Tabel 4.37 dan terlampir pada Lampiran I halaman 32-33.

Tabel 4.37 Rekapitulasi perhitungan *fixed ballast* pada tiap pembangkit

No.	Pnet (mW)	Tangki Ballast (m ³)						
		AP	I (S&P)	II (S&P)	III (S&P)	IV (S&P)	V (S&P)	FP
1	5	1264.2	617.4	2734.2	529.2	2734.2	617.4	2146.2
2	10	2289.28	1254.4	5582.08	1097.6	5582.08	1254.4	3794.6
3	50	4368	3360	15840	2400	15840	3360	7215
No.	Pnet (mW)	Fixed Ballast (ton)		Total LWT+ DWT With Ballast (ton)			Selisih Margin (%)	
1	5	6598.12		16266.87			0.99	
2	10	17711.71		17711.71			0.98	
3	50	74392.05		90821.93			0.98	

4.9 Titik Berat *OTEC Barge*

Pada perhitungan titik berat kapal, pertama-tama dilakukan perhitungan titik berat pada tiap komponen yang termasuk berat LWT dan komponen yang termasuk pada berat DWT.

4.9.1 LWT

Titik Berat *Machinery Weight*, menggunakan rumus pendekatan dari (Parsons, 2001), dan titik berat pada masing masing HE dan TG dilakukan dengan menggunakan pendekatan bentuk mesin HE dan TG. Berikut pada Tabel.4 38 merupakan contoh perhitungan pada *OTEC barge* 5 MW.

Tabel.4 38 Contoh perhitungan titik berat permesinan OTEC *barge* 5MW.

TOTAL KG and LCG of Engine Plant, Heat Exchanger & Turbine Generator			
<u>Engine Plant</u>			
$KG_{EP} = 0.35 \times (D' - H_{DB})$		$LCG_{EP} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$	
$D' = \text{Tinggi Kamar Mesin}$		$L_{ER} = \text{Panjang Kamar Mesin}$	
$= 9.00 \text{ m}$		$= 20 \text{ m}$	
$KG_{EP} = 0.350 \times (9.00)$		$L_{FC-FP} = \text{Panjang f.castle dibelakang FP}$	
$= 3.15 \text{ m}$		$= 8 \text{ m}$	
$W_{EP} = 140.112 \text{ ton}$		$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$	
		$= 82.000 \text{ m}$	
		$LCG_{EP} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 20.00)$	
		$= 100.000 \text{ m (FP)}$	
		$= -45.000 \text{ m (} \phi \text{)}$	
<u>Heat Exchanger</u>			
<u>I</u>			
$H_{HE1} = 4.00$		$L_{HE1} = 31.000$	
$KG_{HE1} = 0.5 \times 4.00$		$L_{HE1} = \text{Panjang kearah FP}$	
$= 2.000 \text{ m}$		$= 52.000$	
$W_{HE1} = 570.000 \text{ ton}$		$LCG_{HE1} = 52.00 + (0.5 \times 31.00)$	
		$= 67.500 \text{ m (FP)}$	
		$= -12.500 \text{ m (} \phi \text{)}$	
<u>Heat Exchanger</u>			
<u>II</u>			
$H_{HE2} = 4.00$		$L_{HE2} = 31.000$	
$KG_{HE2} = 0.5 \times 4.00$		$L_{HE2} = \text{Panjang kearah FP}$	
$= 2.000 \text{ m}$		$= 15.000$	
$W_{HE2} = 570.000 \text{ ton}$		$LCG_{HE2} = 15.00 + (0.5 \times 31.00)$	
		$= 30.500 \text{ m (FP)}$	
		$= 24.500 \text{ m (} \phi \text{)}$	

Titik berat *Hull*, menggunakan rumus pendekatan dari (Parsons, 2001), yaitu sebagai berikut dan dikoreksi dengan kontruksi-kontruksi seperti *web frame*, sekat memanjang dan melintang dengan menggunakan rumus pendekatan bentuk atau dibantu dengan perangkat lunak *AutoCad*. Berikut pada Tabel 4 39 merupakan contoh perhitungan titik berat baja yang dilakukan pada OTEC *barge* 5 MW.

Tabel 4 39 Contoh perhitungan titik berat baja OTEC *barge* 5 MW.

$KG_{ST} = 0.01 \times H \times (46.6 + 0.135 \times (0.82 - C_B) \times ((L / D) ^2)) + 0.008 \times H \times ((L / B) - 6.5)$	
$= 3.697 \text{ m}$	
$W_{st} = 1036.4418 \text{ ton}$	
$LCG_{ST} = -0.15 + LCB$	(%L)
$LCB = \% LCB$	$= 0.000 \%L$
$LCG_{ST} = -0.15 + 0.000$	

$$\begin{aligned}
 &= -0.150 \quad \%L \\
 &= -0.165 \quad \text{m (}\phi\text{)} \\
 &= 55.165 \quad \text{m (FP)}
 \end{aligned}$$

KG and LCG of Superstructure and Deckhouse

Forecastle

$$KG_{FC} = H + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{FC} = 2.5 \quad \text{m}$$

$$KG_{FC} = 9.000 + (0.5 \times 2.50)$$

$$= 10.250 \quad \text{m}$$

$$W_{FC} = 41.250 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{FC} = L_{FC-FP} - (1/3 \times L_{FC})$$

$$L_{FC} = 3 \quad \text{m}$$

$$L_{FC-FP} = 8 \quad \text{m}$$

$$LCG_{FC} = 8.00 - (1/3 \times 3.00)$$

$$= 7.000 \quad \text{m (FP)}$$

$$= 48.000 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

Poop

$$KG_P = H + (0.5 \times H_P)$$

$$H_P = 3 \quad \text{m}$$

$$KG_P = 9.000 + (0.5 \times 3.00)$$

$$= 10.5 \quad \text{m}$$

$$W_P = 135.000 \quad \text{ton}$$

$$LCG_P = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_P)$$

$$L_P = 20 \quad \text{m}$$

$$LCG_P = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 20.00)$$

$$= 100.000 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -45.000 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

Deckhouse

LAYER II

$$KG_{DH2}$$

$$= H + H_P + (0.5 \times H_{DH})$$

$$H_{DH} = 2.5 \quad \text{m}$$

$$KG_{DH} = 9.000 + 3.0 + (0.5 \times 2.50)$$

$$= 13.25 \quad \text{m}$$

$$W_{DH} = 75.075 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_P)$$

$$L_{DH} = 16.5 \quad \text{m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 16.50)$$

$$= 98.250 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -43.250 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

Titik berat peralatan dan perlengkapan, perhitungan ini menggunakan cara yang sama dengan mencari titik berat bangunan atas dan *superstructure* dengan menggunakan total berat peralatan dan perlengkapan. Berikut pada Tabel 4 39 merupakan contoh perhitungan titik berat peralatan dan perlengkapan yang dilakukan pada OTEC *barge* 5 MW.

Tabel 4 40 Contoh perhitungan titik berat *equipment* dan *outfitting* OTEC *barge* 5MW.

KG for Group III

$$KG_{GIII} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{DH2} \times W_{DH2}) + (KG_{DH3} \times W_{DH3}) + (KG_{DH4} \times W_{DH4}) + (KG_{WH} \times W_{WH}) + (KG_{TG} \times W_{TG}) + (KG_{TG} \times W_{TG})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 744.770 \quad \text{ton}$$

$$KG_{GIII} = ((56.100 \times 10.25) + (102.000 \times 10.50) + (72.930 \times 13.25) + (48.620 \times 15.75) + (39.780 \times 18.25) + (22.440 \times 20.75)) / 744.77$$

$$= 11.00451 \quad \text{m}$$

LCG for Group III

$$LCG_{GIII} = ((LCG_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{DH2} \times W_{DH2}) + (LCG_{DH3} \times W_{DH3}) + (LCG_{DH4} \times W_{DH4}) + (LCG_{WH} \times W_{WH})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 744.770 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{GIII} = ((7.000 \times 56.10) + (100.000 \times 102.00) + (98.250 \times 72.93) + (95.500 \times 48.62) + (94.500 \times 39.78) + (93.000 \times 22.44)) / 744.77$$

$$= 67.68118 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -12.681 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

KG and LCG of Group IV (Miscellaneous)

KG for Group IV

$$KG_{GIV} = 1.00 \sim 1.05 \text{ H}$$

$$= 1.05 \times 9.000$$

$$= 9.45 \quad \text{m}$$

$$W_{IV} = 77.071 \quad \text{ton}$$

(asumsi tersebar merata)

LCG for Group IV

$$LCG_{GIV} = 0.5 \times L$$

$$= 0.5 \times 110.000 \quad \text{ton}$$

$$= 55 \quad \text{m (FP)}$$

$$= 0.000 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

TOTAL KG and LCG of Equipment and Outfitting

$$KG_{E\&O} = ((KG_{GIII} \times W_{GIII}) + (KG_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O}$$

$$W_{E\&O} = 821.841 \quad \text{ton}$$

$$KG_{E\&O} = ((11.005 \times 744.77) + (9.450 \times 77.07)) / 821.84$$

$$= 10.858728 \quad \text{m}$$

$$LCG_{E\&O} = ((LCG_{GIII} \times W_{GIII}) + (LCG_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O}$$

$$W_{E\&O} = 821.841 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{E\&O} = ((67.681 \times 744.77) + (55.000 \times 77.07)) / 821.84$$

$$= 66.491953 \quad \text{m (FP)}$$

$$= -11.492 \quad \text{m (}\phi\text{)}$$

Setelah didapatkan titik berat badan, permesinan, bangunan akomodasi, peralatan dan lainnya *OTEC barge*, maka dilakukan pencarian titik berat total dengan menambah lcg tiap komponen dengan dikalikan beratnya masing-masing lalu dibagi total berat LWT.

4.9.2 DWT

Setelah mengetahui nilai daya apung yang dimiliki *OTEC barge* maka perlu mengetahui nilai berat yang dimiliki oleh *OTEC barge*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah total berat yang dimiliki *OTEC barge* sesuai dengan daya apung yang dimiliki *OTEC barge*. Seperti yang dijelaskan pada Bab2 terdapat dua komponen berat yang dimiliki *OTEC barge*, yaitu berat LWT dan DWT

Pada perhitungan titik berat ini dibagi menjadi perhitungan titik berat *mass flow of fluid on board*, *fixed ballast* dan *crew & consumable* menggunakan rumus pendekatan bangunan atau juga dengan bantuan perangkat lunak *AutoCad*. Berikut pada Tabel 4 41 merupakan contoh perhitungan untuk pembangkit berukuran 5 MW.

Tabel 4 41 Contoh perhitungan titik berat *fixed ballast* pada OTEC barge 5 MW.

KG and LCG of Fixed Ballast	
$KG_{bal} =$	4.5 m
$W_{bal} =$	6598.12
LCG_{pay}	$= L_{FC-FP} + L_{rm} \times 0.5$
$L_{FC-FP} =$	Panjang forecastle dibelakang FP
	= 8 m
$L_{rm} =$	Panjang Cargo Hold
	= 82.000 m
LCG_{pay}	$= 8.0 + 82.0 \times 0.5$
LCG_{pay}	= 49.000 m (FP)
	6.000 m (ϕ)

4.10 Total Weight & Center of Mass Recapitulation

Berikut ini rekapitulasi berat dan titik berat *OTEC barge* serta pengecekan margin displasemen pada tabel dibawah ini. Pengecekan margin displasemen dengan total LWT DWT dilakukan untuk menjaga ketinggian sarat yang diinginkan dan menjaga titik apung kapal dengan baik. Berikut rekapan hasil perhitungan berat LWT dan DWT serta titik berat LWT dan DWT untuk masing masing *OTEC barge* pada dan terlampir pada Lampiran halaman 61-63. Melihat hasil dari tiap margin yang sudah masuk kisaran 1%, maka ukuran utama desain dianggap terpenuhi dalam sisi total berat dengan displasemen dan titik berat dan titik apung yang dimiliki tiap pembangkit. Sehingga bias dilanjutkan pada proses analisis selanjutnya.

Tabel 4.42 Rekapitulasi total berat dan titik berat LWT DWT OTEC barge 5 MW.

OTEC BARGE 5mW					
NO.	ITEM	W(ton)	KG(m)	LCG(m)fp	LCG(m)(ϕ)
	Light Weight Estimation				
1	Machinery Plant Weight	1280.11	2.13	54.58	0.42
2	Equipment & Outfitting weight	821.84	10.86	66.49	-11.49
3	SS&DH Weight	414.43	12.91	82.92	-27.92
4	Hull Steel Weight	1065.41	6.29	62.82	-7.82
5	Riser	1859.68	-281.61	49.00	6.00
	Total LWT	5441.46	-91.89	58.24	-3.24
	Dead Weight Estimation				
1	Mass Flow Fluid Onboard	4167.50	2.50	49.00	6.00
2	Crew & Consumable	59.79	12.90	93.28	-38.28
3	Fixed Ballast	6598.12	4.50	49.00	6.00
	Total DWT	10825.41	3.78	49.24	5.76
	TOTAL WEIGHT ESTIMATION				
	TOTAL LWT + DWT	16266.87	-28.22	52.25	2.75
MARGIN CHECK					
Displacement Design (Δ)		=	16429.87	ton	
Margin (Displacement - (DWT + LWT))		=	163.00	ton	
		=	0.992095	%	
LCB		=	55.0001	(m)(AP)	
LCG		=	52.25	(m)(FP)	
LCG		=	57.75	(m)(AP)	
Margin Titik berat (LCB-LCG)		=	2.75	m	
		=	2.495477	%	

Tabel 4.43 Rekapitulasi total berat dan titik berat LWT DWT *OTEC barge* 10 MW.

OTEC BARGE 10 mW					
NO.	ITEM	W(ton)	KG(m)	LCG(m)fp	LCG(m)(ϕ)
	Light Weight Estimation				
1	Machinery Plant Weight	2560.45	4.18	54.59	0.41
2	Equipment & Outfitting weight	873.69	17.91	66.63	-11.63
3	SS&DH Weight	441.05	19.95	83.24	-28.24
4	Steel Weight	1497.73	9.89	61.24	-6.24
5	Riser	1859.68	-281.61	49.00	6.00
	Total LWT	7232.59	-65.50	57.73	-2.73
	Dead Weight Estimation				
1	Mass Flow Fluid Onboard	6408.00	4.50	49.00	6.00
2	Crew & Consumable	113.48	17.82	86.20	-31.20
3	Fixed Ballast	17711.71	8.00	49.00	6.00
	Total DWT	24233.19	7.12	49.17	5.83
	TOTAL WEIGHT ESTIMATION				
	TOTAL LWT + DWT	31465.78	-9.57	51.14	3.86
MARGIN CHECK					
Displacement Design (Δ)		=	31777.78	ton	
Margin (Displacement - (DWT + LWT))		=	312.00	ton	
		=	0.981818	%	
LCB		=	54.934	(m)(AP)	
LCG		=	51.14	(m)(FP)	
LCG			58.86	(m)(AP)	
Margin Titik berat (LCB-LCG)		=	3.93	m	
		=	3.568477	%	

Tabel 4.44 Rekapitulasi total berat dan titik berat LWT DWT OTEC barge 50 MW.

OTEC BARGE 50 mW					
NO.	ITEM	W(ton)	KG(m)	LCG(m)fp	LCG(m)(ϕ)
	Light Weight Estimation				
1	Machinery Plant Weight	10651.20	6.13	107.59	-7.59
2	Equipment & Outfitting weight	1651.87	21.27	115.62	-15.62
3	SS&DH Weight	577.99	23.85	153.97	-53.97
4	Steel Weight	3848.98	10.71	106.85	-6.85
5	Riser	1864.20	-281.61	81.05	18.95
	Total LWT	18594.24	-19.87	106.93	-6.93
	Dead Weight Estimation				
1	Mass Flow Fluid Onboard	30608.08	8.00	95.00	5.00
2	Crew & Consumable	537.24	16.96	132.17	-32.17
3	Fixed Ballast	74392.05	10.00	95.00	5.00
	Total DWT	105537.3	9.46	95.19	4.81
	TOTAL WEIGHT ESTIMATION				
	TOTAL LWT + DWT	124131.6	5.06	96.95	3.05
MARGIN CHECK					
	Displacement Design (Δ)	=	125361.6	ton	
	Margin (Displacement - (DWT + LWT))	=	1230.00	ton	
		=	0.9811616	%	
	LCB	=	99.951	(m)(AP)	
	LCG	=	96.95	(m)(FP)	
	LCG		103.05	(m)(AP)	
	Margin Titik berat (LCB-LCG)	=	3.00	m	
		=	2.73031098	%	

BAB V. ANALISIS STABILITAS DELIVERY OTEC BARGE

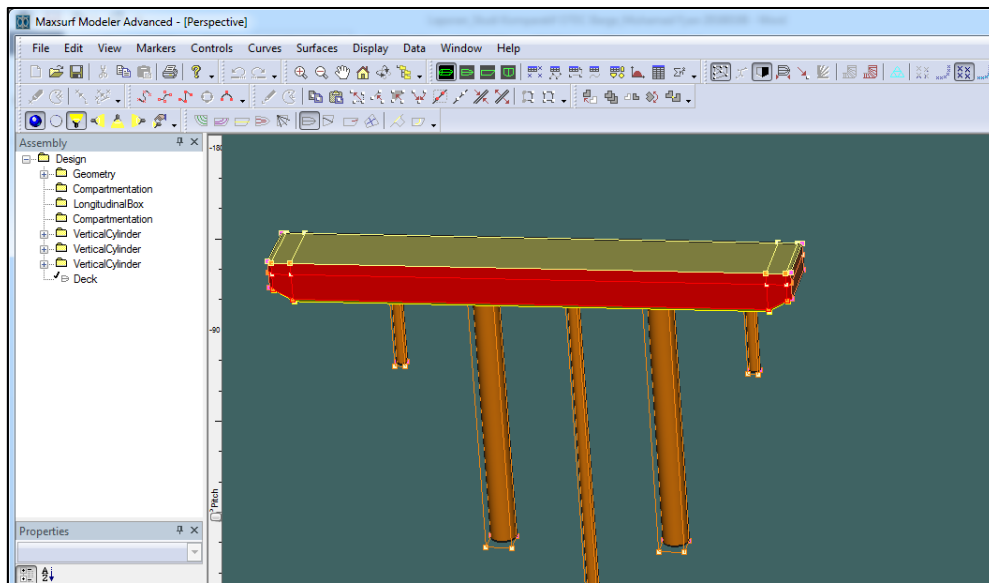
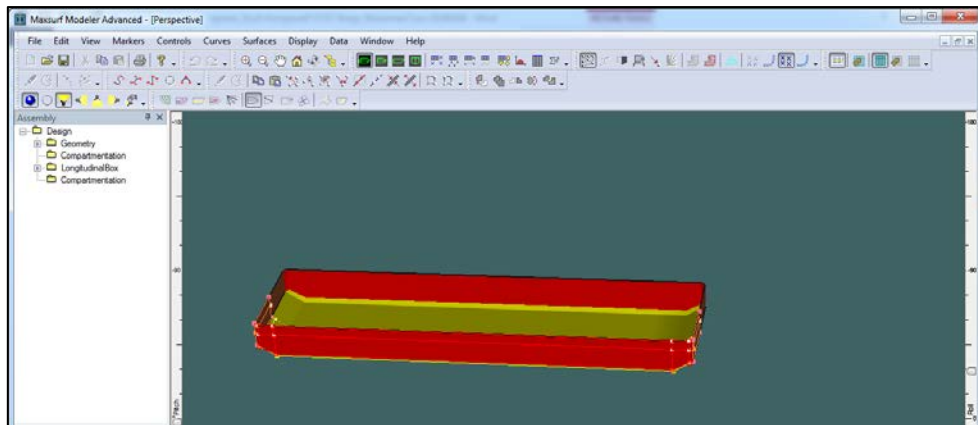
Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2 sebelumnya bahwa perlu dilakukan analisis stabilitas untuk melihat kemampuan stabilitas *OTEC barge* dalam proses delivery kapal. Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana proses melakukan analisis stabilitas kapal. Analisis ini bermula dengan pembuatan model di perangkat lunak *maxsurf modeller* lalu lanjut memasukan model ke perangkat lunak *maxsurf stability*.

Stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali pada kedudukan setimbang dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dalam kondisi tersebut. Pada saat kapal melakukan aktivitas bongkar muat ataupun sedang berlayar, kapal selalu mendapat gaya-gaya baik dari muatan itu sendiri ataupun dari gaya luar. Gaya gaya ini dapat menjadi besar dengan ditambahkan faktor faktor alam seperti cuaca sehingga menyebabkan oleng dan gerakan lain yang besar dan cepat. Hal ini sangat berbahaya jika kapal tidak mempunyai kemampuan kembali pada kedudukan setimbang, maka dari itu dibutuhkan analisa stabilitas yang baik untuk mencegah hal tersebut.

5.1 Pembuatan Model OTEC Barge

Pemodelan *surface OTEC barge* dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf. Pemodelan *OTEC barge* dilakukan untuk mendapatkan model dan data hidrostatik. Model *OTEC barge* selain dijadikan input untuk analisis stabilitas juga digunakan untuk perhitungan RAO *freefloating* dan tertambat pada *software* ANSYS AQWA. Akan tetapi model untuk analisis stabilitas dan analisis RAO memiliki perbedaan yaitu, pada analisis stabilitas tidak menggunakan pipa atau *riser* akan tetapi saat pemodelan RAO dipasang *riser*.

Hal ini dikarenakan analisis stabilitas yang digunakan untuk melihat stabilitas *OTEC barge* saat diantar dari tempat fabrikasi ke titik operasi. Analisis RAO digunakan saat *OTEC barge* sudah melakukan operasi pengambilan energy panas laut sehingga perlu dilakukan model dengan *riser*. Pemodelan dilakukan pada kondisi *tow*. Data yang di input pada perangkat lunak *maxsurf modeler* merupakan data dimensi ukuran utama *OTEC barge* yang telah didapatkan melalui proses yang sudah dijelaskan sebelumnya pada Bab 4. Berikut pada Gambar 5.1 merupakan hasil model *OTEC barge* 5 MW menggunakan perangkat lunak *maxsurf modeler*.



Gambar 5.1 Pemodelan OTEC *barge* 5 MW dengan menggunakan *maxsurf modeler*, dari atas tidak menggunakan pipa dan dibawah menggunakan pipa.

Untuk melakukan validasi model yang dibuat apakah sudah sesuai dengan proses desain yang dilakukan pada Bab 4 maka dilakukan pengecekan dengan melihat hasil hidrostatik pada model dibandingkan dengan hasil hidrostatik pada desain.

Tabel 5 1 Hasil hidrostatik desain dan maxsurf

No.	Item	Hasil Desain	Hasil <i>Maxsurf</i>	Hasil Desain	Hasil <i>Maxsurf</i>	Hasil Desain	Hasil <i>Maxsurf</i>
		5 MW	5 MW	10 MW	10 MW	50 MW	50 MW
1	LCB (m dari AP)	55	55	54.9	54.128	99.951	99.952
2	Cb	0.9715	0.977	0.9786	0.975	0.98	0.98
3.	Cp	0.971	0.978	0.978	0.977	0.98	0.98
4	Volume Displasemen (m ³)	16029.2	16366	31002.72	30512.4	122304	125377

Dapat dilihat pada Tabel 5 1 bahwa tidak terjadi banyak selisih diantara kedua hasil desain dan maxsurf, maka model dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

5.2 International Code on Intact Stability, 2008

Tujuan dari IS Code 2008 ini untuk memberikan peraturan dan rekomendasi kriteria stabilitas dan parameter lainnya yang dapat menjamin keselamatan kapal saat beroperasi untuk meminimalkan resiko pada kapal, awak kapal dan lingkungan sekitar kapal, dikutip oleh (Kurniawati, 2013) pada diktak kuliah *Statutory Regulation*.

IS Code, 2008 ini mengandung kriteria *intact stability* untuk tipe tipe kapal atau *marine vechiles* dibawah ini yang mempunyai L lebih besar sama dengan 24m, berikut ini tipe-tipe kapal atau *marine vechiles* tersebut yang dikutip oleh (Kurniawati, 2013) pada diktat kuliah *Statutory Regulation*:

1. *Cargo Ships,*
2. *Cargo Ships carrying timber deck cargo,*
3. *Cargo Ships carrying containers on deck and container ships,*
4. *Passenger Ships,*
5. *Fishing Vessel,*
6. *Spesial Purpose Ship,*
7. *Pontoons,*
8. *Offshore Supply Vessel (OSV),*
9. *Mobile Offshore Drilling Units (MODUs),*

Bedasarkan keterangan diatas dan penjelasan pada bab studi literatur maka OTEC *barge* ini termasuk kategori *special purpose ship*

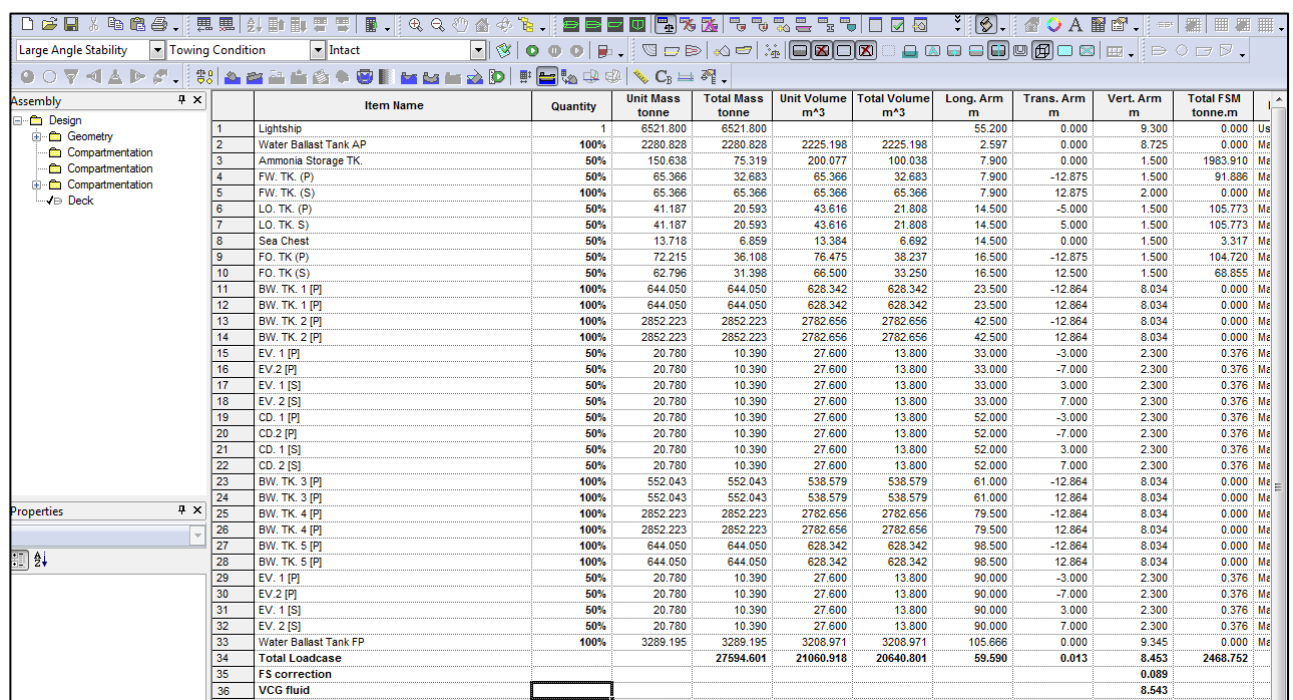
5.3 Part A Mandatory Criteria

Karena menurut IS Code, 2008 *cement carrier* merupakan kategori *cargo ship* maka aturan yang dipakai berada di *Part A-mandatory criteria, Ch.1, Ch.2* .Dengan penjelasan pada *chapter 1* maka semua *cargo ship* dan kapal penumpang dengan L diatas 24 m yang bertuliskan dibawah peraturan *chapter 2* merupakan minimum kebutuhan kriteria stabilitas. Kriteria stabilitas pada *chapter 2* sebagai berikut:

1. $e_0 30^\circ \geq 0.055 \text{ m.rad}$, luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \geq 0.055 \text{ m.rad}$
2. $e_0 40^\circ \geq 0.09 \text{ m.rad}$, luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^\circ \geq 0.09 \text{ m.rad}$
3. $e_{30,40^\circ} \geq 0.03 \text{ m.rad}$, luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ \sim 40^\circ \geq 0.03 \text{ m.rad}$
4. $h_{30^\circ} \geq 0.2\text{m}$, lengan penegak GZ paling sedikit 0.2 m pada sudut oleng 30° atau lebih.
5. H_{\max} pada $\phi_{\max} \geq 25^\circ$, lengan penegak maksimum pada sudut oleng lebih dari 25°

5.4 Proses Analisis Stabilitas

Proses ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Stability* dengan 1 kondisi muatan. Di bawah ini akan dijelaskan langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk menghitung stabilitas kapal menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Stability* dengan kondisi muatan penuh, berikut ini penjelasannya.

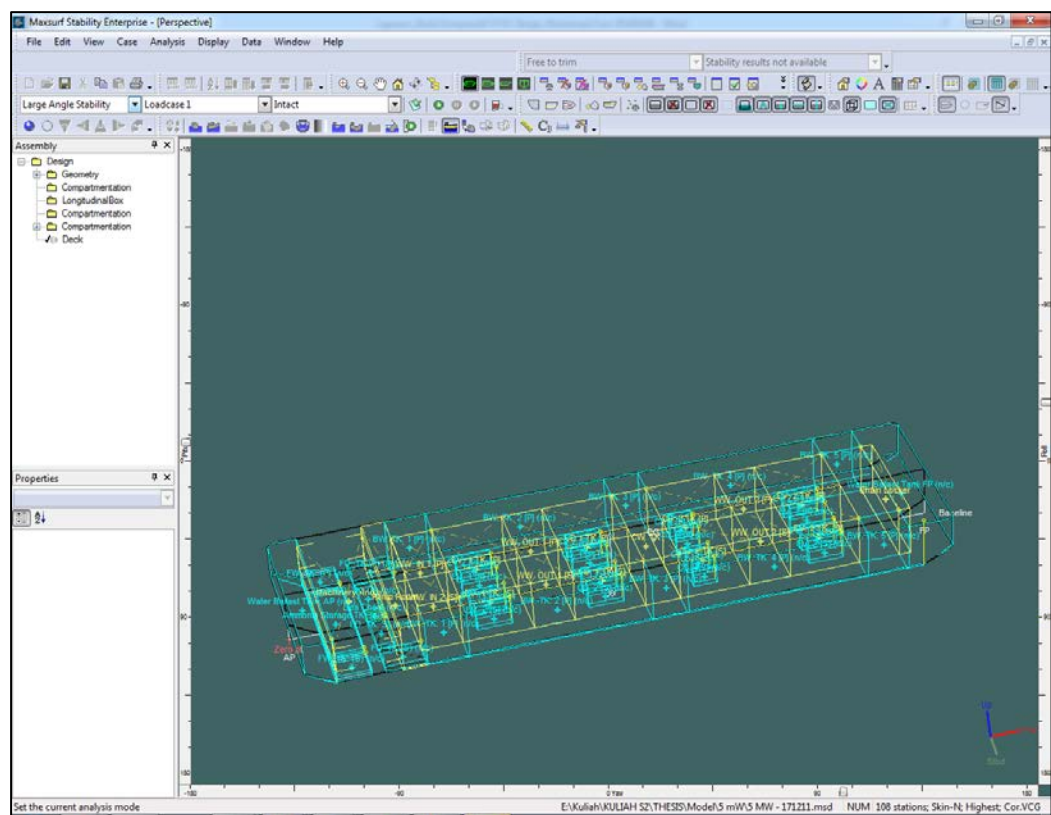


Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	I
1 Lightship	1	6521.800	6521.800			55.200	0.000	9.300	0.000	Us
2 Water Ballast Tank AP	100%	2280.828	2280.828	2225.198	2225.198	2.597	0.000	8.725	0.000	Me
3 Ammonia Storage TK.	50%	150.638	75.319	200.077	100.038	7.900	0.000	1.500	1983.910	Me
4 FW. TK. (P)	50%	65.366	32.683	65.366	32.683	7.900	-12.875	1.500	91.886	Me
5 FW. TK. (S)	100%	65.366	65.366	65.366	65.366	7.900	12.875	2.000	0.000	Me
6 LO. TK. (P)	50%	41.187	20.593	43.616	21.808	14.500	-5.000	1.500	105.773	Me
7 LO. TK. (S)	50%	41.187	20.593	43.616	21.808	14.500	5.000	1.500	105.773	Me
8 Sea Chest	50%	13.718	6.859	13.384	6.692	14.500	0.000	1.500	3.317	Me
9 FO. TK. (P)	50%	72.215	36.108	76.475	38.237	16.500	-12.875	1.500	104.720	Me
10 FO. TK. (S)	50%	62.796	31.398	66.500	33.250	16.500	12.500	1.500	68.855	Me
11 BW. TK. 1 [P]	100%	644.050	644.050	628.342	628.342	23.500	-12.864	8.034	0.000	Me
12 BW. TK. 1 [P]	100%	644.050	644.050	628.342	628.342	23.500	12.864	8.034	0.000	Me
13 BW. TK. 2 [P]	100%	2852.223	2852.223	2782.656	2782.656	42.500	-12.864	8.034	0.000	Me
14 BW. TK. 2 [P]	100%	2852.223	2852.223	2782.656	2782.656	42.500	12.864	8.034	0.000	Me
15 EV. 1 [P]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	33.000	-3.000	2.300	0.376	Me
16 EV. 2 [P]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	33.000	-7.000	2.300	0.376	Me
17 EV. 1 [S]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	33.000	3.000	2.300	0.376	Me
18 EV. 2 [S]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	33.000	7.000	2.300	0.376	Me
19 CD. 1 [P]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	52.000	-3.000	2.300	0.376	Me
20 CD. 2 [P]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	52.000	-7.000	2.300	0.376	Me
21 CD. 1 [S]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	52.000	3.000	2.300	0.376	Me
22 CD. 2 [S]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	52.000	7.000	2.300	0.376	Me
23 BW. TK. 3 [P]	100%	552.043	552.043	538.579	538.579	61.000	-12.864	8.034	0.000	Me
24 BW. TK. 3 [P]	100%	552.043	552.043	538.579	538.579	61.000	12.864	8.034	0.000	Me
25 BW. TK. 4 [P]	100%	2852.223	2852.223	2782.656	2782.656	79.500	-12.864	8.034	0.000	Me
26 BW. TK. 4 [P]	100%	2852.223	2852.223	2782.656	2782.656	79.500	12.864	8.034	0.000	Me
27 BW. TK. 5 [P]	100%	644.050	644.050	628.342	628.342	98.500	-12.864	8.034	0.000	Me
28 BW. TK. 5 [P]	100%	644.050	644.050	628.342	628.342	98.500	12.864	8.034	0.000	Me
29 EV. 1 [P]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	90.000	-3.000	2.300	0.376	Me
30 EV. 2 [P]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	90.000	-7.000	2.300	0.376	Me
31 EV. 1 [S]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	90.000	3.000	2.300	0.376	Me
32 EV. 2 [S]	50%	20.780	10.390	27.600	13.800	90.000	7.000	2.300	0.376	Me
33 Water Ballast Tank FP	100%	3289.195	3289.195	3208.971	3208.971	105.666	0.000	9.345	0.000	Me
34 Total Loadcase			27594.601	21060.918	20640.801	59.590	0.013	8.453	2468.752	
35 FS correction									0.089	
36 VCG fluid								8.543		

Gambar 5.2 Room definition window, pembuatan model tangki-tangki.

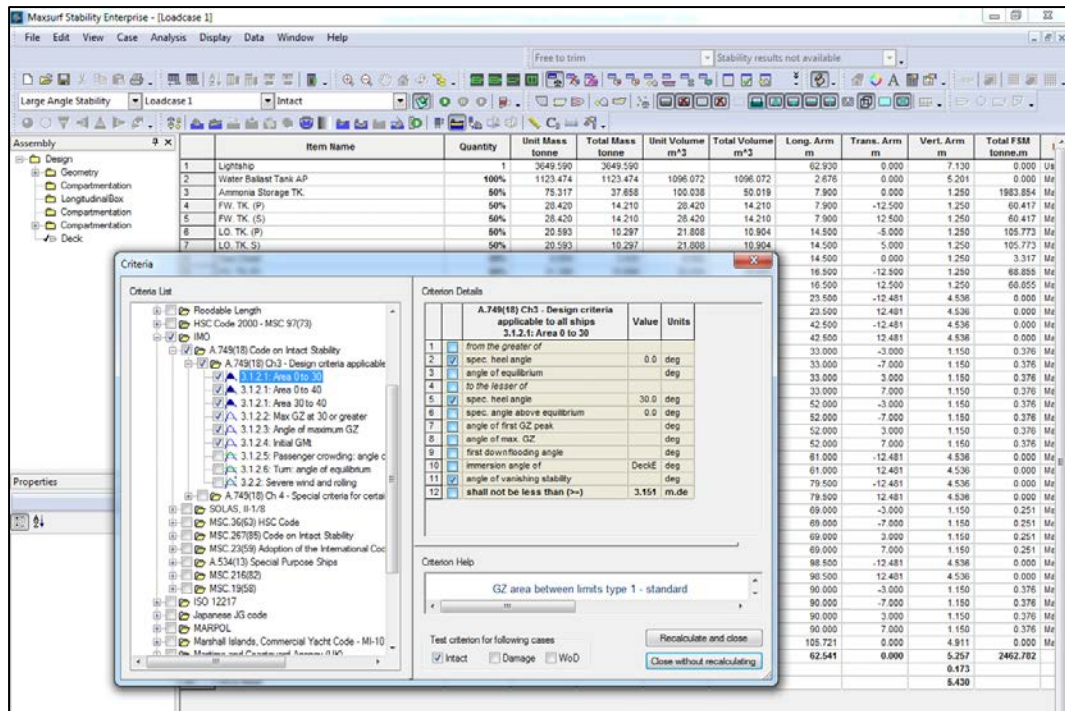
1. Buat tangki-tangki yang ada pada kapal seperti: tangki ruang muat, tangki untuk bahan bakar, tangki ballast, tangki air tawar dan tangki lainnya.
2. Masukkan Ukuran Tangki dengan mengklik toolbar *room definition window*.

3. *Input* 3 koordinat yaitu panjang (After sampai Fore), lebar (Portside sampai Starboard) dan tinggi tangki (Bottom sampai Top).
4. Masukkan massa jenis masing-masing tangki, untuk jenis muatan yang tidak terdapat di maxsurf bisa dibuat sendiri dengan mengklik toolbar *Analysis* -> *Density*.
5. Setelah Semua tangki telah dibuat, hasilnya dapat dilihat dari tampak 2 dimensi ataupun 3 dimensi seperti pada pada Gambar 5.3 berikut.
6. Buat kondisi yang diinginkan untuk kondisi kapal dimana tangki diisi penuh atau dikosongkan dengan mengklik simbol toolbar *loadcase* dan memasukan data kapal yang telah dihitung pada kolom *lightship*.



Gambar 5.3 Model Tangki dalam bentuk 3D.

7. Setelah di buat *loadcase* maka selanjutnya ditentukan apa yang akan dipakai untuk melakukan pengecekan stabilitas dengan menggunakan Intact Stability Code, 2008 dari IMO
8. Setelah selesai, running program dengan *start analysis*. Hasil langsung dapat dilihat di simbol toolbar *report*.



Gambar 5.4 Pemilihan kriteria analisis untuk selanjutnya dilakukan proses solve

Berikut pada Tabel 5.2 merupakan rangkuman hasil analisa stabilitas menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Stability* dengan mengacu pada kriteria IS Code 2008 Part A/Ch.2.

Tabel 5.2 Rekapitulasi analisis stabilitas tiap pembangkit.

CODE	STABILITY	VALUE REQ.	UNIT	5 MW	10 MW	50 MW	STATUS
2008 IS Code/Ch.2	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	98.7112	53.0999	59.6938	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	146.1624	91.0902	100.4666	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	47.4512	37.9903	40.7728	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	4.946	3.877	4.194	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Angle of maximum GZ	25.0	deg	27.3	38.2	40.0	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Initial GMt	0.150	m	14.603	6.353	7.291	Pass

Dapat dilihat pada Tabel 5.2 kriteria yang harus dilewati pada analisis stabilitas sehingga analisis stabilitas dianggap telah terpenuhi memenuhi kriteria. IS code 2008 dan pekerjaan dapat dilanjutkan pada analisis selanjutnya.

BAB VI. ANALISIS RAO DAN MOORING OTEC BARGE

Pada Bab VI, telah dilakukan proses pembuatan model dan simulasi model dengan perangkat lunak *Ansys AQWA*. Selanjutnya, pada Bab VI ini akan dilakukan proses penganalisaan terhadap hasil simulasi *OTEC barge*. Proses penganalisaan terdiri dari Pencarian data lingkungan tiap titik lokasi potensi OTEC, analisis perhitungan response amplitude operators (RAOs), perhitungan spectrum response ($SR\omega$) dan harga significant amplitude pada submarine di *irregular wave*.

6.1 Data Lingkungan

Terdapat enam titik lokasi potensi OTEC, data lingkungan yang diambil adalah berupa data tinggi gelombang signifikan dan data periode terjadinya gelombang. Kedua data tersebut diambil dari data satelit yang dapat diakses di <https://www.ecmwf.int/>. Setelah data diperoleh maka dilakukan pencarian tinggi gelombang dan periode ekstrem.

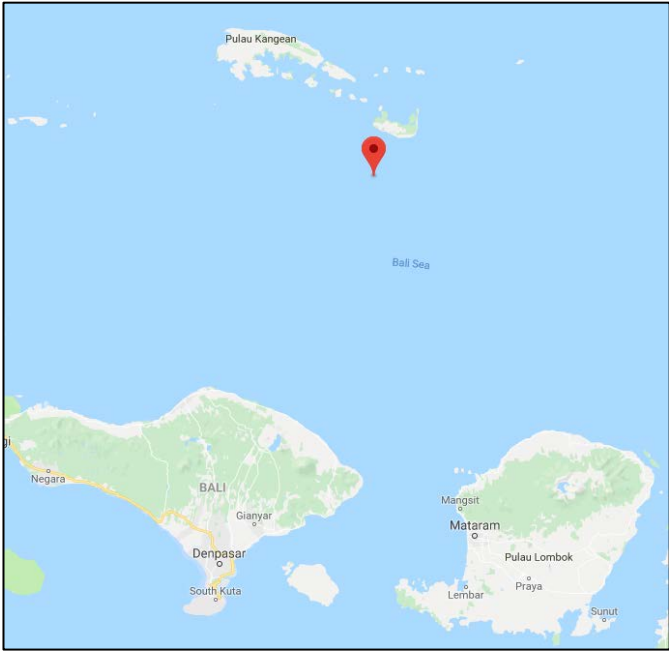
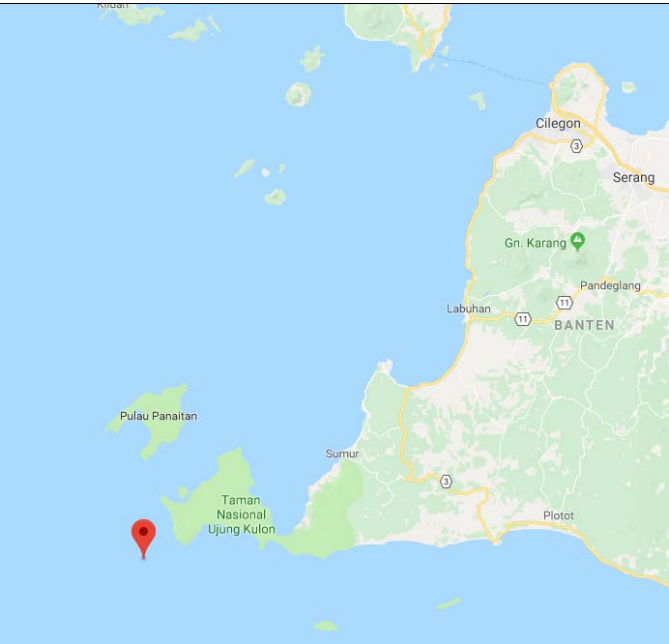
Tabel 6 1 Model Distribusi Gumbel dan Weibull.


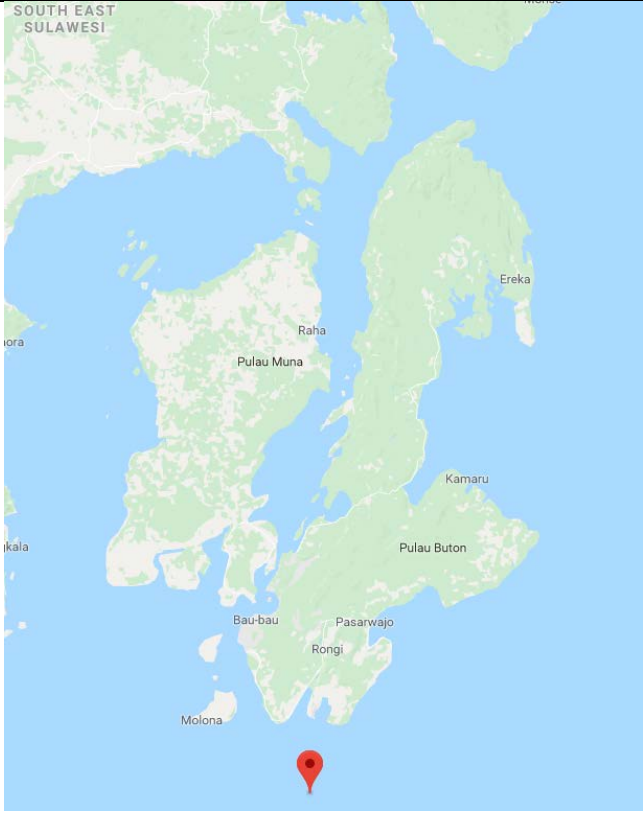
Model	Equation	Y	X	A	B
Gumbel	$P = \exp\left(-\exp\left(-\frac{H-\gamma}{\beta}\right)\right)$	$-\ln\left(\ln\frac{I}{P}\right)$	H	$\frac{I}{\beta}$	$-\frac{\gamma}{\beta}$
Weibull	$Q = \exp\left(-\left\{\frac{H-\gamma}{\beta}\right\}^{\alpha}\right)$	$\left(\ln\frac{I}{Q}\right)^{1/\alpha}$	H	$\frac{I}{\beta}$	$-\frac{\gamma}{\beta}$

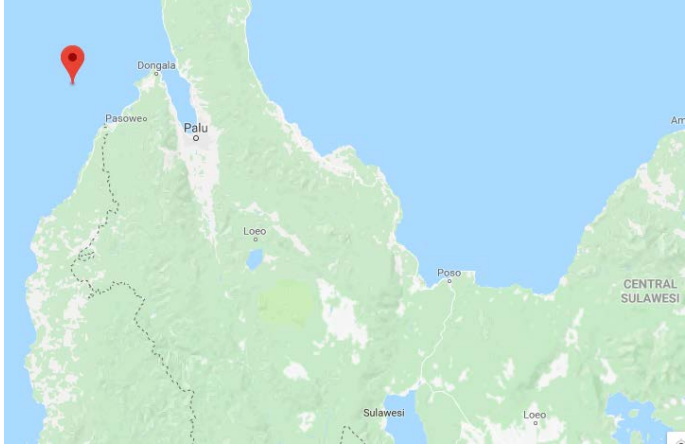

Data gelombang (H_s) tiap titik lokasi diambil selama satu tahun setiap jamnya dan didistribusi dengan menggunakan metode *long-term value analysis* dan dikategorikan menjadi 12 kategori tinggi gelombang berdasarkan 12 bulan di satu tahun. Pekerjaan pengkelompokan data ini menggunakan perangkat lunak *Microsoft excel*. Setelah ditemukan range data tinggi gelombang dan periode dengan menggunakan *pivot table* pada *Microsoft excel* maka dilakukan pencarian tinggi gelombang ekstrem dengan menggunakan dua distribusi yaitu distribusi wibull dan gumbel, dicari mana nilai R^2 terbesar. Perhitungan dan rekapitulasi perhitungan terlampir pada Lampiran III halaman 1-13.

Selanjutnya data yang didapatkan pada tiap titik lokasi adalah data kecepatan angin (V_w), data kecepatan angin didapatkan dengan menggunakan data dari bmkg yang dapat diakses di <http://peta-maritim.bmkg.go.id/static/>. Berikut pada table dibawah ini merupakan titik lokasi potensi OTEC dan data lingkungan yang dimilikinya.

Tabel 6.2 Data lingkungan pada titik lokasi OTEC.

No.	Lokasi	Data Lingkungan
1		Parameter tinggi gelombang dan periode selama 100 tahunan. <ul style="list-style-type: none"> • H_s: 2.632 m • Frekuensi Puncak: 1.46 rad/s • V_w: 10 knot
2.		Parameter tinggi gelombang dan periode selama 100 tahunan. <ul style="list-style-type: none"> • H_s: 4.99 m • Frekuensi Puncak: 0.66 rad/s • V_w: 22 knot

3		<p>Parameter tinggi gelombang dan periode selama 100 tahunan.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hs: 2.33 m • Frekuensi Puncak: 1.46 rad/s <p>Vw: 10.5 knot</p>
4		<p>Parameter tinggi gelombang dan periode selama 100 tahunan.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hs: 2.57 m • Frekuensi Puncak: 1.22 rad/s <p>Vw: 12 knot</p>

5		<p>Parameter tinggi gelombang dan periode selama 100 tahunan.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hs: 1.26 m • Frekuensi Puncak: 1.59 rad/s <p>Vw: 9.2 knot</p>
6		<p>Parameter tinggi gelombang dan periode selama 100 tahunan.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hs: 3.92 m • Frekuensi Puncak: 0.58 rad/s <p>Vw: 25 knot</p>

6.2 Analisis Gerakan Struktur OTEC Barge pada Gelombang Reguler Kondisi *Free-Floating*

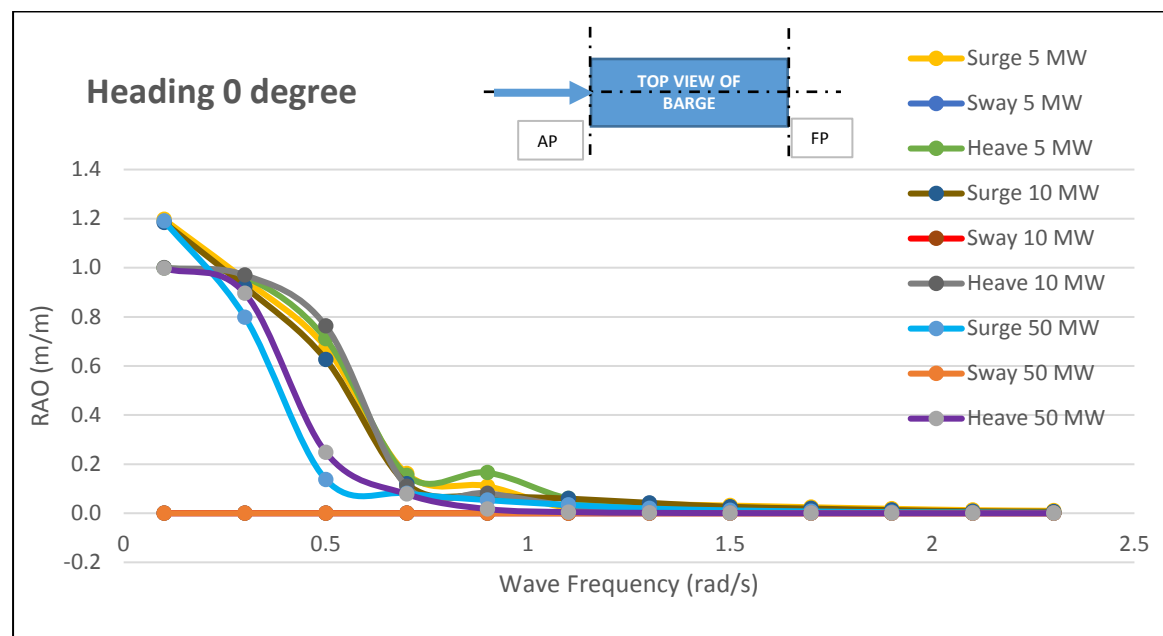
Setelah dilakukan simulasi terhadap model *OTEC barge* dengan perangkat lunak *Ansys AQWA*, selanjutnya *output* awal yang akan didapat adalah *response amplitude* (RAOs) pada 6 derajat kebebasan (*degree of freedom*). Secara sederhana, RAO merupakan respon yang diakibatkan oleh struktur pada gelombang reguler. Pada perhitungan RAO ini, model *OTEC barge* divariasikan menjadi 5 sudut, yaitu 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 , dan 180^0 .

Nilai RAO dari keenam derajat kebebasan selanjutnya akan dibuat kurva untuk mengetahui nilai respon dari masing-masing gerakan. Untuk sumbu pada kurva, absis

mewakili frekuensi (rad/s) sedangkan untuk ordinatnya mewakili respon amplitudo dari pergerakan posisi dari masing-masing 6 derajat kebebasan. Untuk gerakan translasi (*surge*, *sway*, dan *heave*) menggunakan (m/m) untuk satuannya, sedangkan gerakan rotasi menggunakan (deg/m).

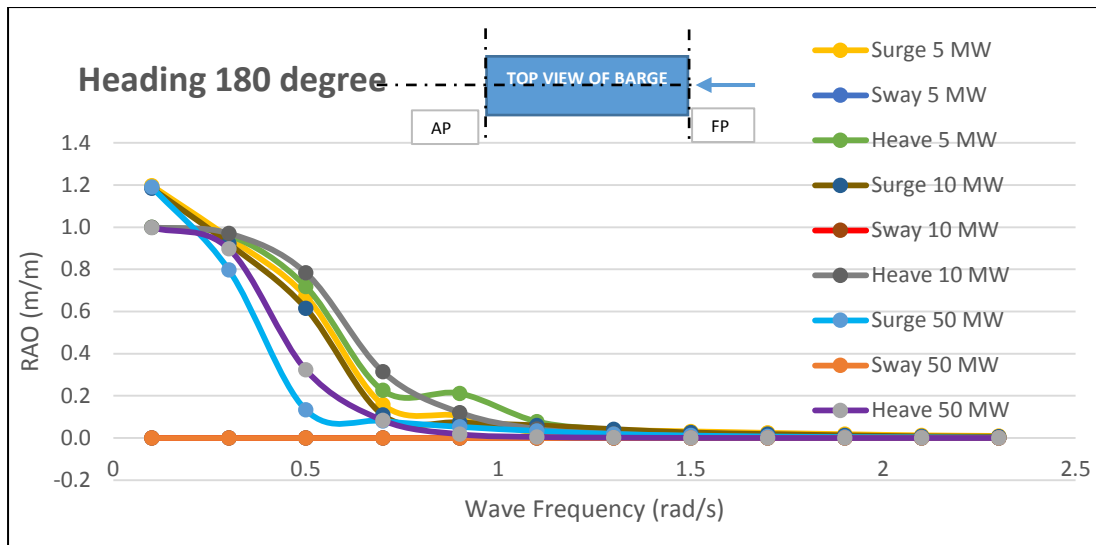
6.2.1 Hasil Kurva RAO pada Sudut 0° dan 180°

Kurva nilai RAO OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW dari gerakan translasi *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 0° dan 180° dapat dilihat pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2 di bawah ini. Sedangkan untuk gerakan rotasional, *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 0° dan 180° dapat dilihat pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4.



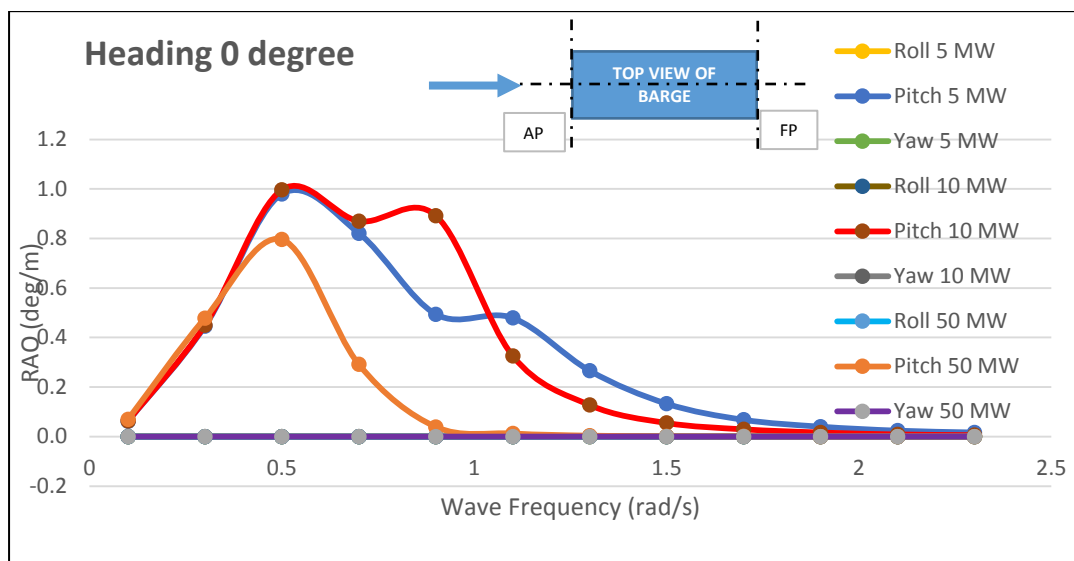
Gambar 6.1 Nilai RAO gerakan *surge*, *sway* *heave* pada sudut 0° (*free-floating*).

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC *barge* pada gerakan translasi lebih didominasi oleh gerakan *surge*. Untuk sudut 0° dan 180° memiliki nilai respon yang paling tinggi dari ketiga sudut hadap lainnya mencapai 1.197 m/m. Nilai *surge* tertinggi dari ketiga OTEC *barge* adalah OTEC *barge* 5 MW dengan nilai 1.97 m/m. Ketiga OTEC *barge* memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s.



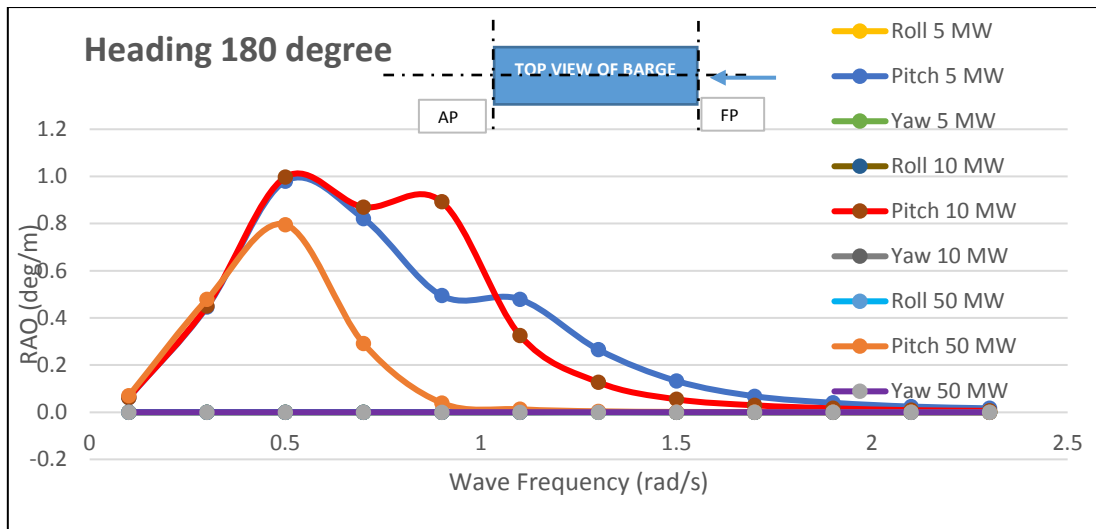
Gambar 6.2 Nilai RAO gerakan *surge, sway heave* pada sudut 180° (*free-floating*).

Nilai respon dari sudut 0° dan 180° tidak memiliki selisih besar. Nilai respon tertinggi dari kedua sudut juga terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s dengan nilai respon terbesar terjadi pada OTEC *barge* 5 MW sebesar 1.197 m/m.



Gambar 6 3 Nilai RAO gerakan *roll, pitch, yaw* pada sudut 0° (*free-floating*).

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC *barge* pada gerakan rotasional lebih didominasi oleh gerakan *pitch*. Untuk sudut 0° memiliki nilai respon yang paling tinggi dari ketiga sudut hadap lainnya mencapai 0.996 deg/m yang dimiliki oleh OTEC *barge* 10 MW. Nilai *pitch* tertinggi dari kedua OTEC *barge* yang lain adalah pada OTEC *barge* 5 MW mempunyai nilai 0.98 deg./m dan pada OTEC *barge* 50 MW memiliki nilai *pitch* tertinggi sebesar 0.8 deg./m. Ketiga OTEC *barge* memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s.

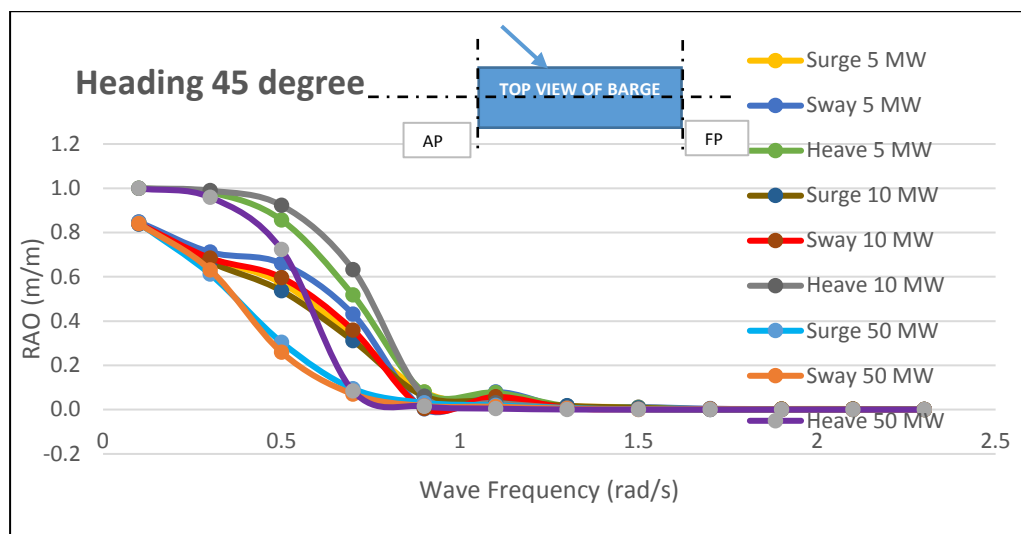


Gambar 6.4 Nilai RAO gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 180° (*free-floating*).

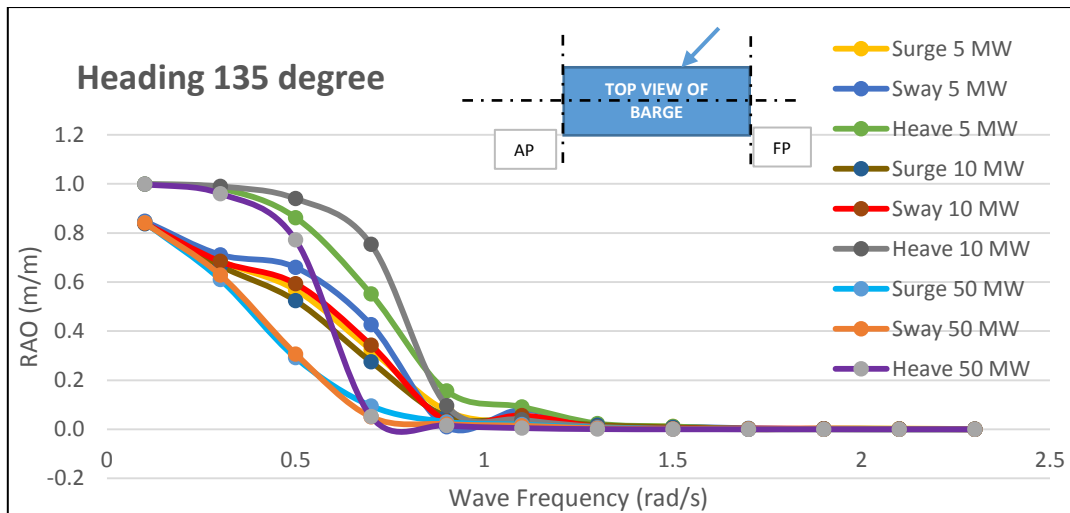
Nilai respon dari sudut 0° dan 180° tidak memiliki selisih besar. Nilai respon tertinggi dari kedua sudut juga terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s dengan nilai respon terbesar terjadi pada OTEC *barge* 10 MW sebesar 0.997 deg/m. Hasil lebih lengkap terlampir pada Lampiran III halaman 14, 19, 42, 47, 70 dan 75.

6.2.2 Hasil Kurva RAO pada Sudut 45° dan 135°

Kurva nilai RAO OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW dari gerakan translasi *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 45° dan 135° dapat dilihat pada Gambar 6.5 dan Gambar 6.6 di bawah ini. Sedangkan untuk gerakan rotasional, *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 45° dan 135° dapat dilihat pada Gambar 6.7 dan Gambar 6.8.

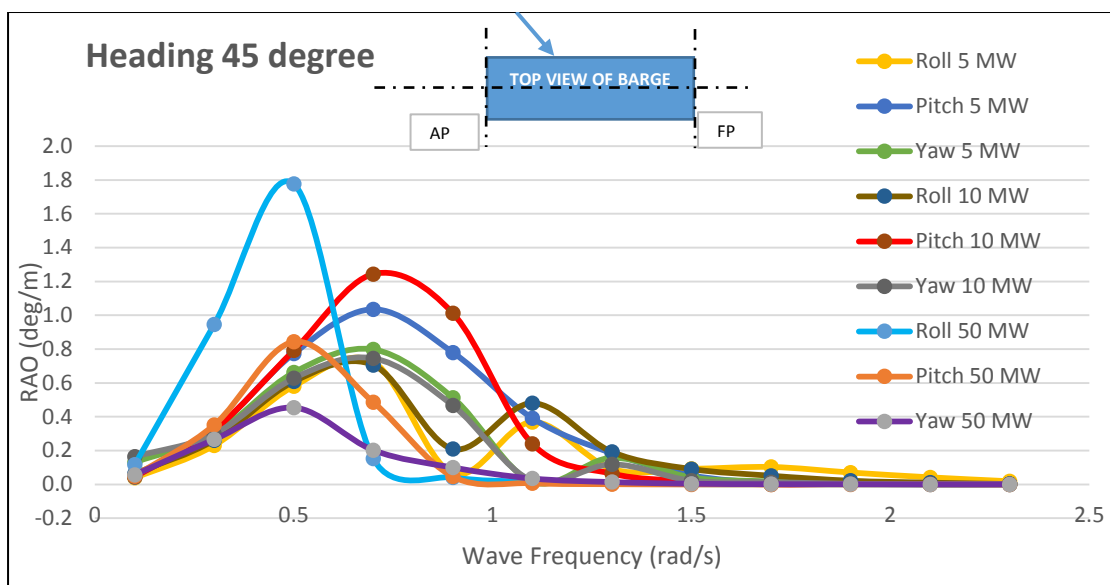


Gambar 6.5 Nilai RAO gerakan *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 45° (*free-floating*).

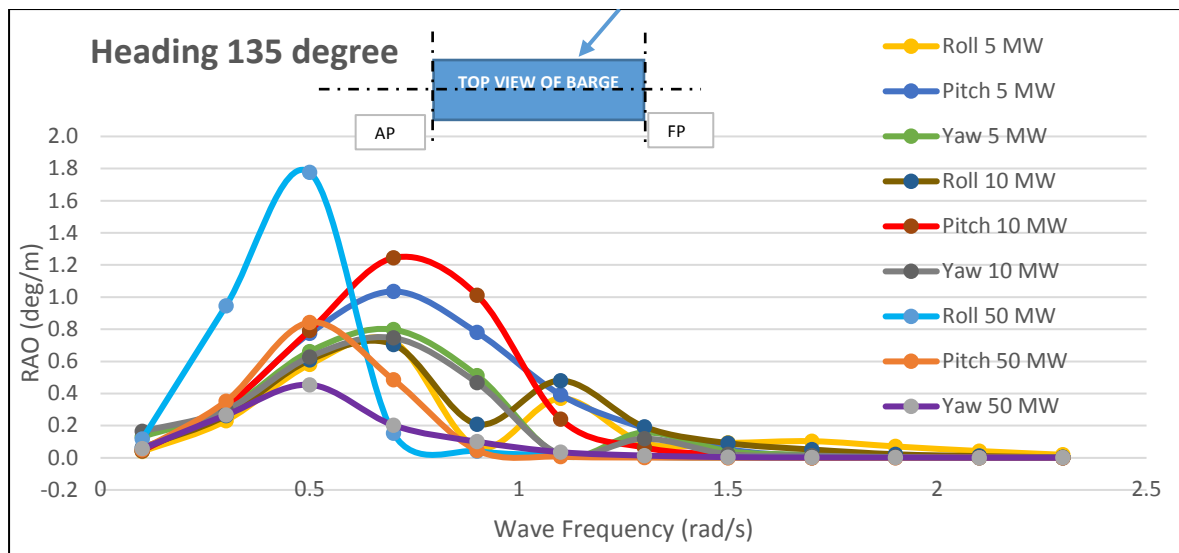


Gambar 6.6 Nilai RAO gerakan *surge, sway heave* pada sudut 135° (*free-floating*).

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC *barge* pada gerakan translasi lebih didominasi oleh gerakan *heave*. Untuk sudut 45° dan 135° memiliki nilai respon yang paling tinggi dari ketiga sudut hadap lainnya mencapai 0.9999 m/m yang dimiliki oleh OTEC *barge* 10 MW. Nilai *heave* tertinggi dari kedua OTEC *barge* yang lain adalah pada OTEC *barge* 56 MW mempunyai nilai 0.9997 m/m dan pada OTEC *barge* 50 MW memiliki nilai *heave* tertinggi sebesar 0.9992 m/m. Ketiga OTEC *barge* memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Nilai respon dari sudut 45° dan 135° tidak memiliki selisih besar. Nilai respon tertinggi dari kedua sudut juga terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s.



Gambar 6.7 Nilai RAO gerakan *roll, pitch, yaw* pada sudut 45° (*free-floating*).



Gambar 6.8 Nilai RAO gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 135° (*free-floating*).

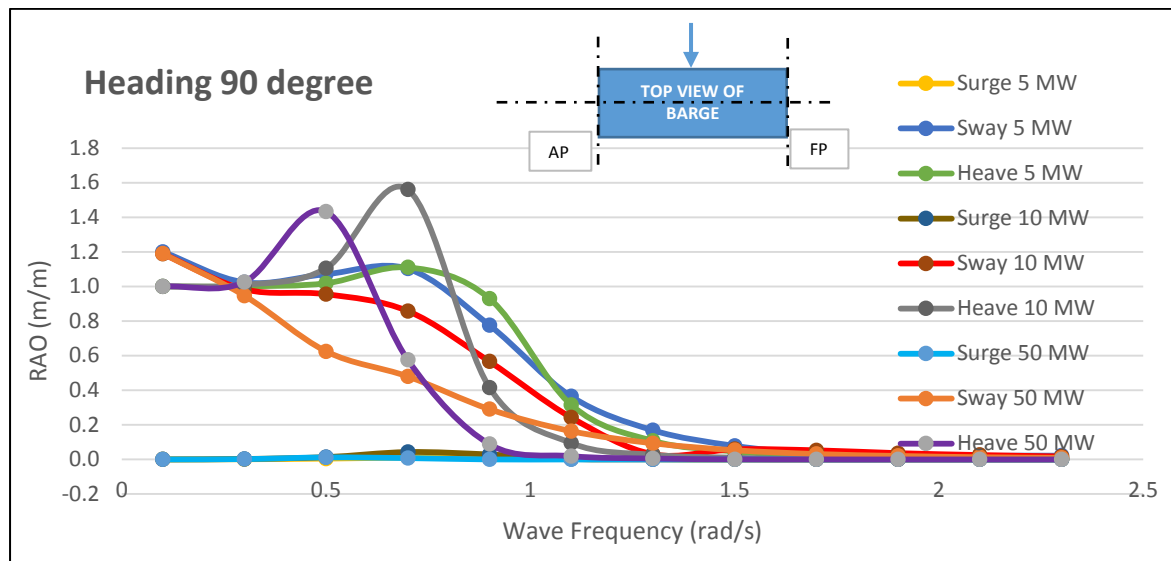
Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC barge pada gerakan rotasional lebih didominasi oleh gerakan *roll*. Untuk sudut 45° dan 135° memiliki nilai respon yang paling tinggi dari ketiga sudut hadap lainnya mencapai 1.7 deg/m yang dimiliki oleh OTEC barge 50 MW. Sedangkan OTEC barge yang lain memiliki ilai *pitch* yang tinggi yaitu pada OTEC barge 10 MW mempunyai nilai 1.2 deg./m dan pada OTEC barge 5 MW memiliki nilai *pitch* tertinggi sebesar 1 deg./m. Ketiga OTEC barge memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s untuk OTEC barge 50 MW dan 0.7 rad/s untuk OTEC barge 5 MW dan 10 MW. Nilai respon dari sudut 45° dan 135° tidak memiliki selisih besar. Hasil lebih lengkap terlampir pada Lampiran III halaman 14, 19, 42, 47, 70 dan 75.

6.2.3 Hasil Kurva RAO pada sudut 90°

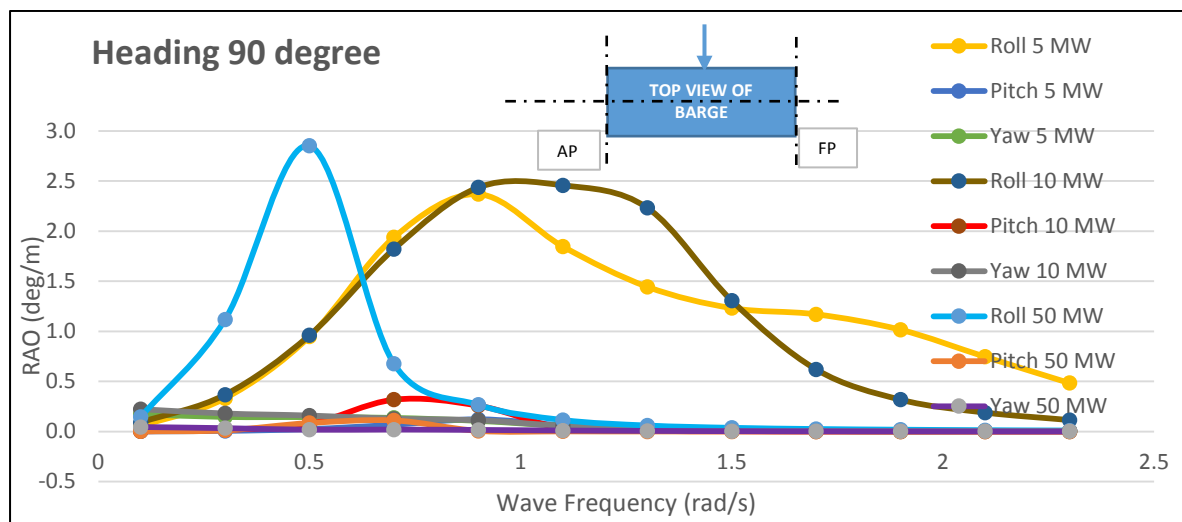
Kurva nilai RAO OTEC barge 5 MW, 10 MW dan 50 MW dari gerakan translasi *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 90° dapat dilihat pada Gambar 6.9 di bawah ini. Sedangkan untuk gerakan rotasional, *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 90° dapat dilihat pada Gambar 6.9 Gambar 6.10.

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC barge pada gerakan translasi lebih didominasi oleh gerakan *heave*. Untuk sudut 90° memiliki nilai respon yang paling tinggi mencapai 1.5 m/m yang dimiliki oleh OTEC barge 10 MW. Nilai *heave* tertinggi dari kedua OTEC barge yang lain adalah pada OTEC barge 50 MW mempunyai nilai 1.43 m/m dan pada OTEC barge 5 MW memiliki nilai *sway* tertinggi sebesar 1.2 m/m. Ketiga OTEC

barge memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s untuk OTEC barge 5 MW, 0.7 rad/s untuk OTEC barge 10 MW dan 0.5 untuk OTEC barge 50 MW



Gambar 6.9 Nilai RAO gerakan *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 90° (*free-floating*).

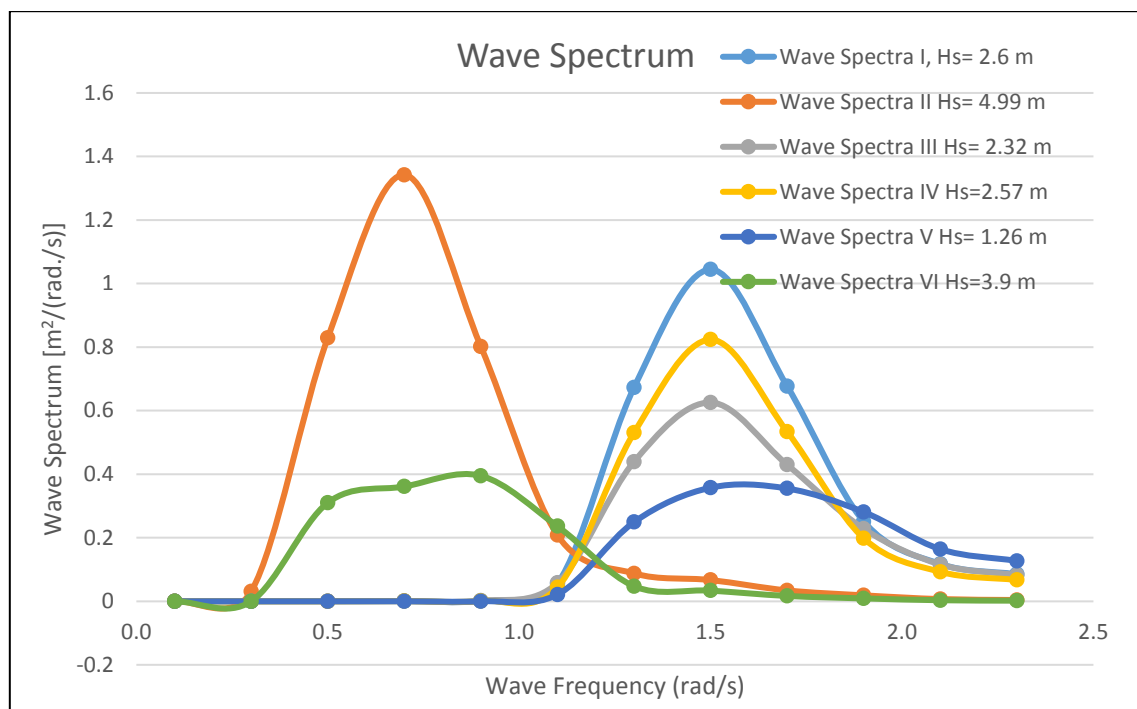


Gambar 6.10 Nilai RAO gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 90° (*free-floating*).

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC barge pada gerakan rotasional lebih didominasi oleh gerakan *roll*. Untuk sudut 90° memiliki nilai respon yang paling tinggi mencapai 2.8 deg/m yang dimiliki oleh OTEC barge 50 MW. Sedangkan OTEC barge yang lain memiliki nilai *roll* yang tinggi yaitu pada OTEC barge 10 MW mempunyai nilai 2.45 deg./m dan pada OTEC barge 5 MW memiliki nilai *roll* tertinggi sebesar 2.43 deg./m. Ketiga OTEC barge memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s untuk OTEC barge 50 MW dan 0.9 rad/s untuk OTEC barge 5 MW dan 10 MW pada 1.1 rad/s.. Hasil lebih lengkap terlampir pada Lampiran III halaman 14, 19, 42, 47, 70 dan 75.

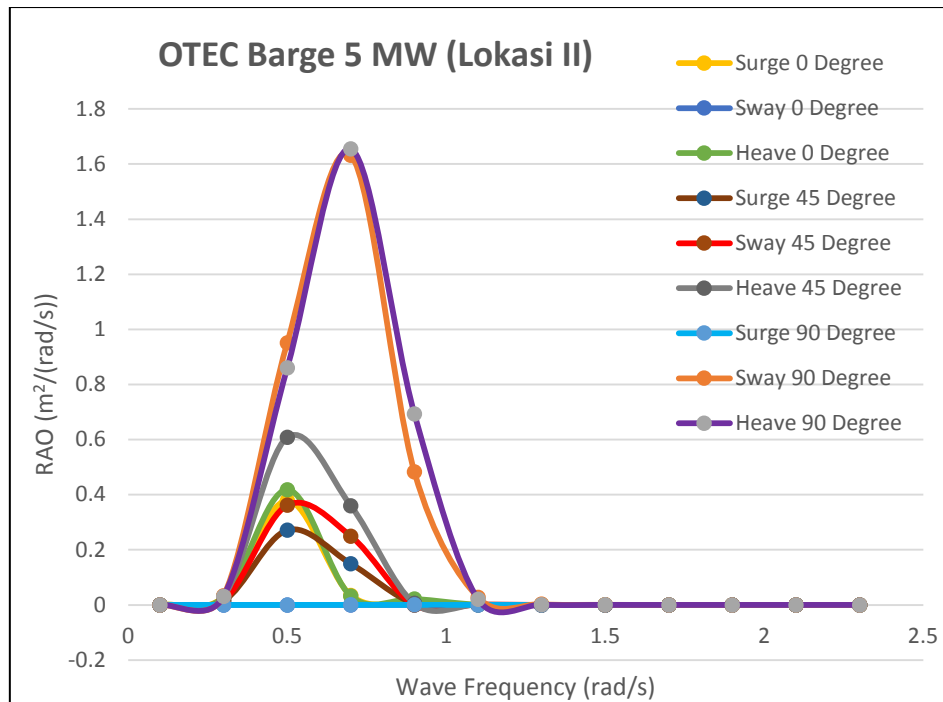
6.3 Analisis Gerakan Struktur OTEC Barge pada Gelombang Acak Kondisi Terapung

Analisis gerakan struktur pada gelombang acak dihitung berdasarkan spectrum gelombang yang sesuai dengan kondisi lingkungan dimana struktur tersebut beroperasi. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 6.1 bahwa OTEC barge memiliki enam pilihan daerah operasi. Metode Spektrum JONSWAP dipilih karena perairan Indonesia merupakan perairan kepulauan atau perairan tertutup yang mirip dengan Laut Utara. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi spektrum gelombang JONSWAP diantaranya adalah γ (gamma), yaitu faktor puncak tambahan (*peak enhancement*). Setelah didapatkan nilai gamma tiap lokasi maka dapat dilakukan pencarian *wave spectrum*, berikut pada Gambar 6.11 merupakan grafik *wave spectrum* ke-enam lokasi.

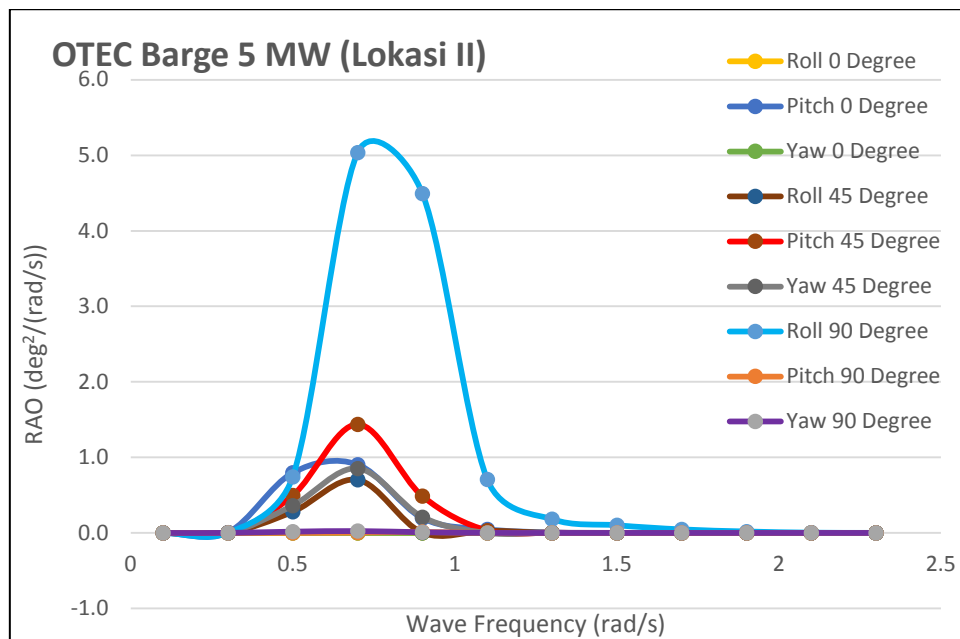


Gambar 6.11 Spektrum gelombang JOHNSWAP enam lokasi potensi OTEC.

Tahap selanjutnya adalah menghitung respon struktur dari ketiga OTEC barge yang merupakan kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektra respon didapat dari perkalian spectra gelombang dengan RAO kuadrat. RAO yang digunakan adalah RAO saat free floating di sudut 0° - 90° , hal ini dikarenakan tidak adanya perbedaan RAO yang jauh antara sudut 0° dengan 180° dan 45° dengan 135° . Pada bab ini hanya akan dijelaskan respon yang terbesar pada tiap sudut dan tiap OTEC barge saja, hasil lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran III halaman 24-40 untuk OTEC barge 5 MW, halaman 51-68 untuk OTEC barge 10 MW dan halaman 79-96.

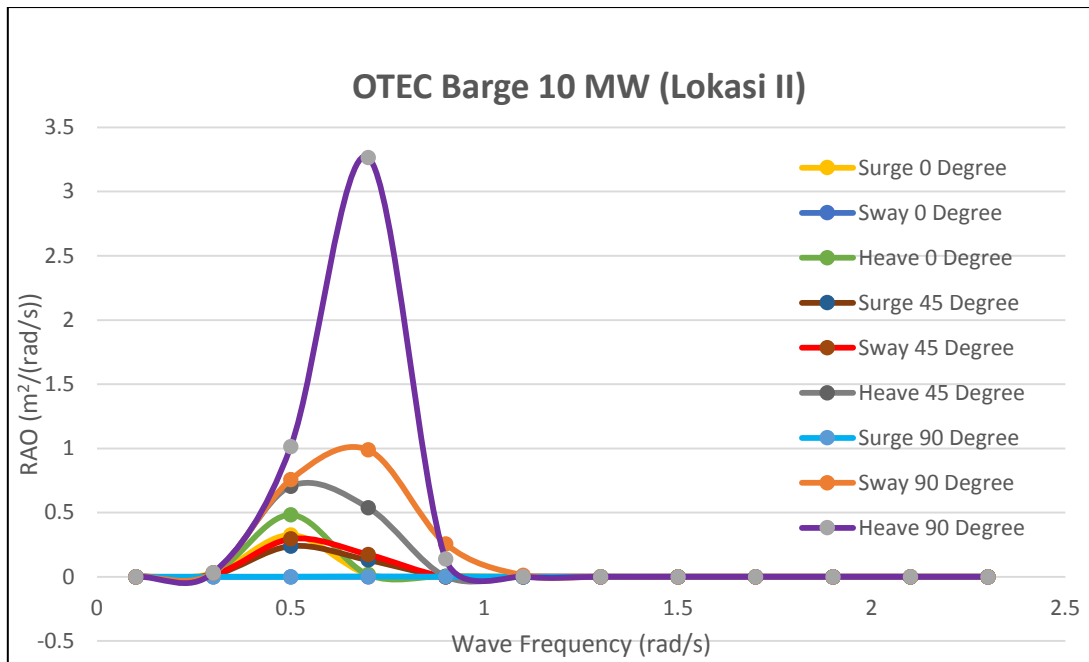


Gambar 6.12 Respon spectra gerakan *surge*, *sway*, *heave* pada lokasi II (5 MW).

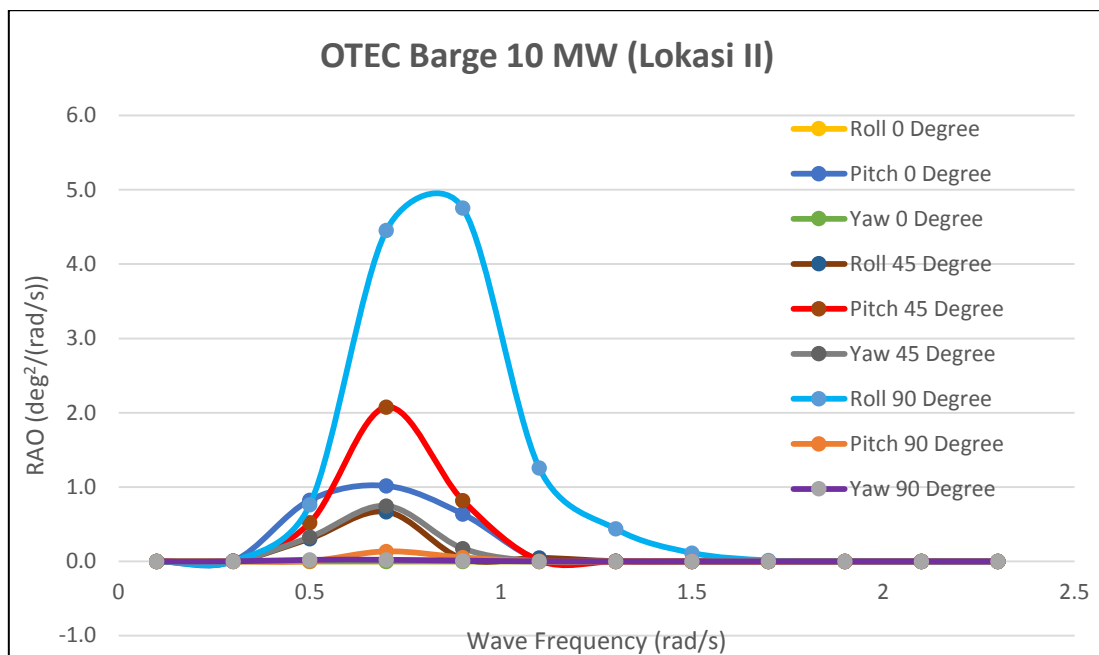


Gambar 6.13 Respon spectra gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada lokasi II (5 MW)

Nilai gerakan respon spektrum yang terbesar pada OTEC *barge* 5 MW terjadi pada lokasi II. Dapat dilihat pada Gambar 6.12 dan Gambar 6.13, dengan nilai gerakan *heave* pada sudut 90° sebesar 1.65 m/m dan nilai gerakan *roll* pada sudut 90° sebesar 5 deg/m. Nilai gerakan *roll* yang besar ini dikarenakan nilai wave spectrum saat frekuensi 0.7 rad/s yang besar dan nilai RAO OTEC 5MW dengan sudut 90° saat frekuensi yang sama memiliki nilai roll yang cukup besar walaupun bukan nilai RAO tertinggi.

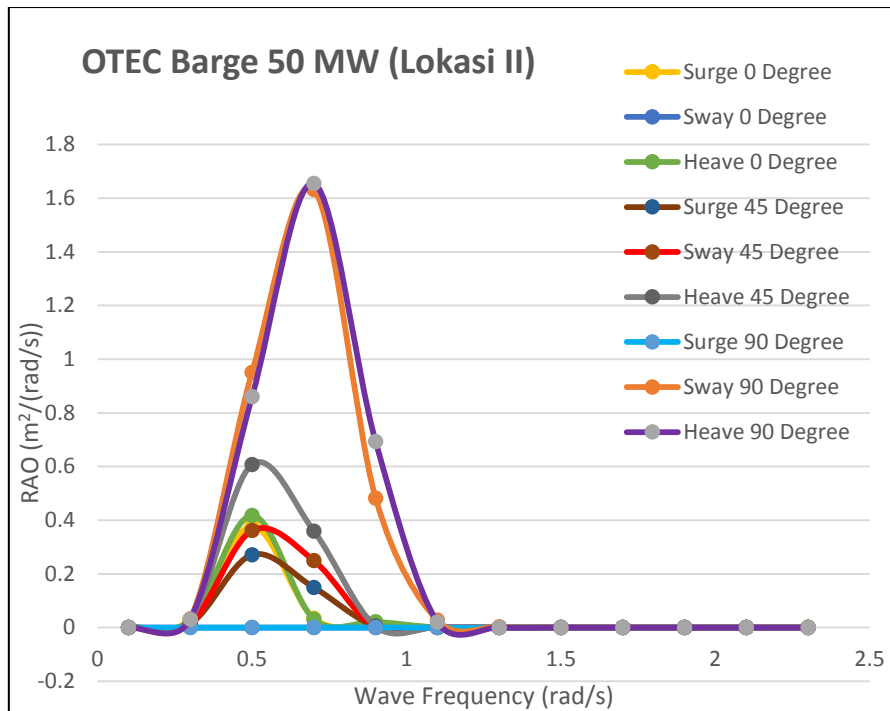


Gambar 6.14 Respon spectra gerakan *surge*, *sway*, *heave* pada lokasi II (10 MW).

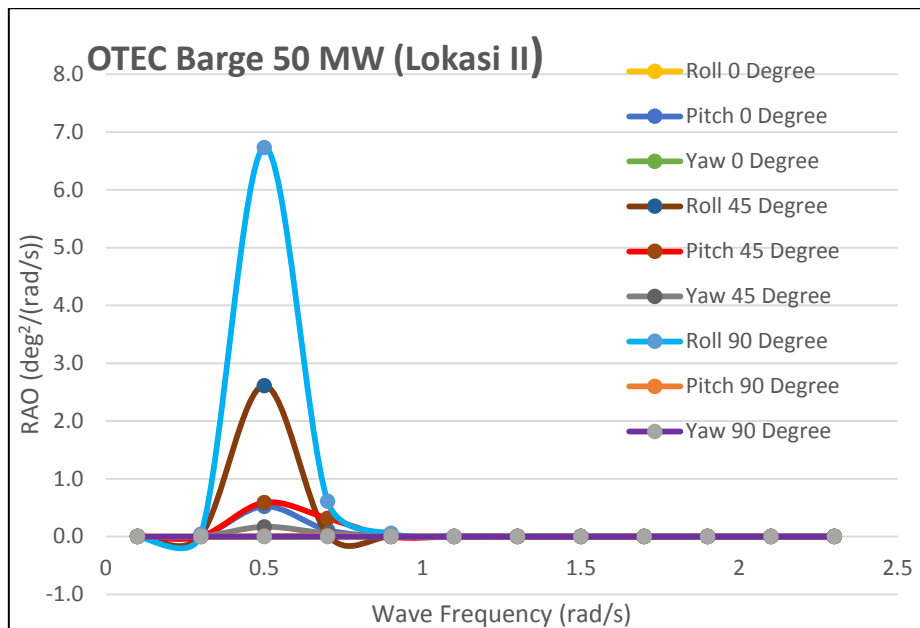


Gambar 6.15 Respon spectra gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada lokasi II (10 MW).

Nilai gerakan respon spektrum yang terbesar pada OTEC *barge* 10 MW terjadi pada lokasi II. Dapat dilihat pada Gambar 6.14 dan Gambar 6.15, dengan nilai gerakan *heave* pada sudut 90° sebesar 3.26 m/m dan nilai gerakan *roll* pada sudut 90° sebesar 4.45 deg/m. Nilai gerakan *roll* yang besar ini dikarenakan nilai wave spectrum saat frekuensi 0.7 rad/s yang besar dan nilai RAO OTEC 10 MW dengan sudut 90° saat frekuensi yang sama memiliki nilai roll yang cukup besar walaupun bukan nilai RAO tertinggi.



Gambar 6.16 Respon spectra gerakan *surge*, *sway*, *heave* pada lokasi II (50 MW).



Gambar 6.17 Respon spectra gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada lokasi II (50 MW).

Nilai gerakan respon spektrum yang terbesar pada OTEC *barge* 50 MW terjadi pada lokasi II. Dapat dilihat pada Gambar 6.16 dan Gambar 6.17, dengan nilai gerakan *heave* pada sudut 90^0 sebesar 1.6 m/m dan nilai gerakan *roll* pada sudut 90^0 sebesar 6.8 deg/m. Nilai gerakan *roll* yang besar ini dikarenakan nilai wave spectrum saat frekuensi 0.7 rad/s yang besar dan nilai RAO OTEC 50 MW dengan sudut 90^0 saat frekuensi yang sama memiliki nilai roll yang cukup besar walaupun bukan nilai RAO tertinggi.

6.4 Analisis Gerakan Struktur OTEC Barge pada Gelombang Reguler Kondisi Tertambat

Setelah dilakukan simulasi analisis RAO dalam keadaan terapung bebas, maka selanjutnya adalah melakukan analisis RAO dengan kondisi tertambat. Respon yang terjadi pada kondisi tertambat harus dipastikan memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan hasil respon kondisi terapung bebas. Sama dengan analisis respon terapung bebas, bahwa analisis dilansungkan dengan 5 sudut arah datangnya gelombang.

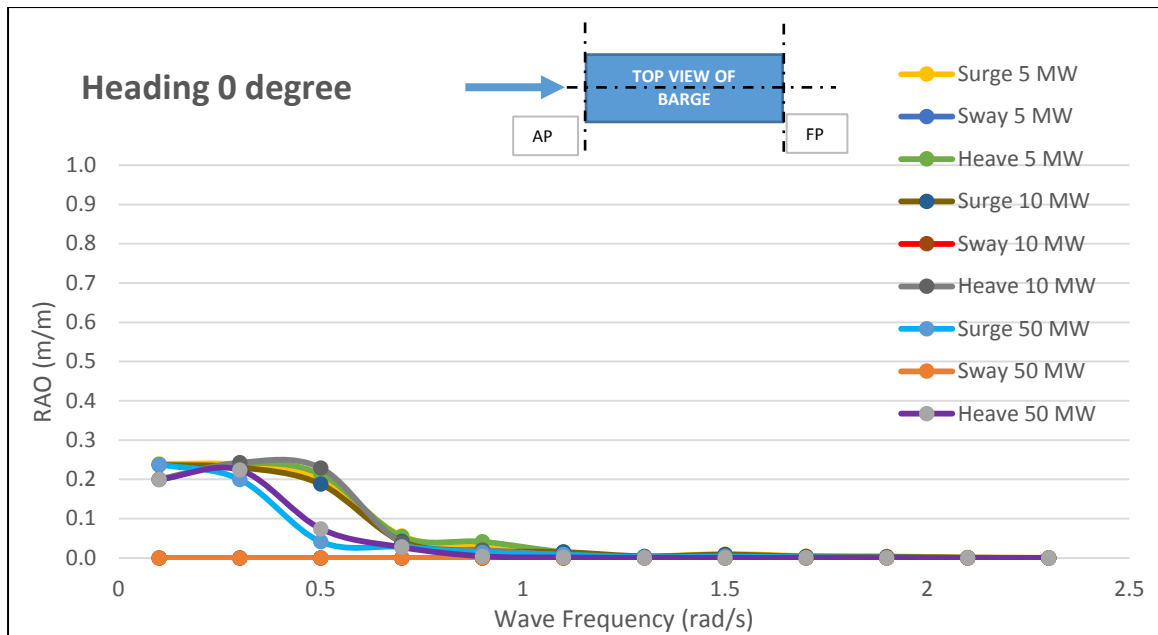
Perhitungan dimensi rantai jangkar pada OTEC *barrge* dilakukan berdasarkan *rules* yang dipakai, yaitu ABS. Langkah awal yang dilakukan dalam perhitungan dimensi rantai jangkar adalah menghitung panjang jangkar yang dibutuhkan pada kedalaman 1000 m. Setelah mendapatkan panjang jangkar yang dibutuhkan maka dilihat dimensi dan jumlah rantai jangkar yang sesuai pada (ABS, 2015) sehingga didapatkan data seperti pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Data Rantai Jangkar

Properti	Line 1,2,3,4	Line 5,6
Diameter	68 mm	78 mm
Tipe	<i>Studlink Chain Cables (steel grade 2 ABS)</i>	<i>Studlink Chain Cables (steel grade 2 ABS)</i>
Panjang	1237.4 m	1085.7 m
MBL	5942800	6332700
Stiffness	1063000 kN	1123000

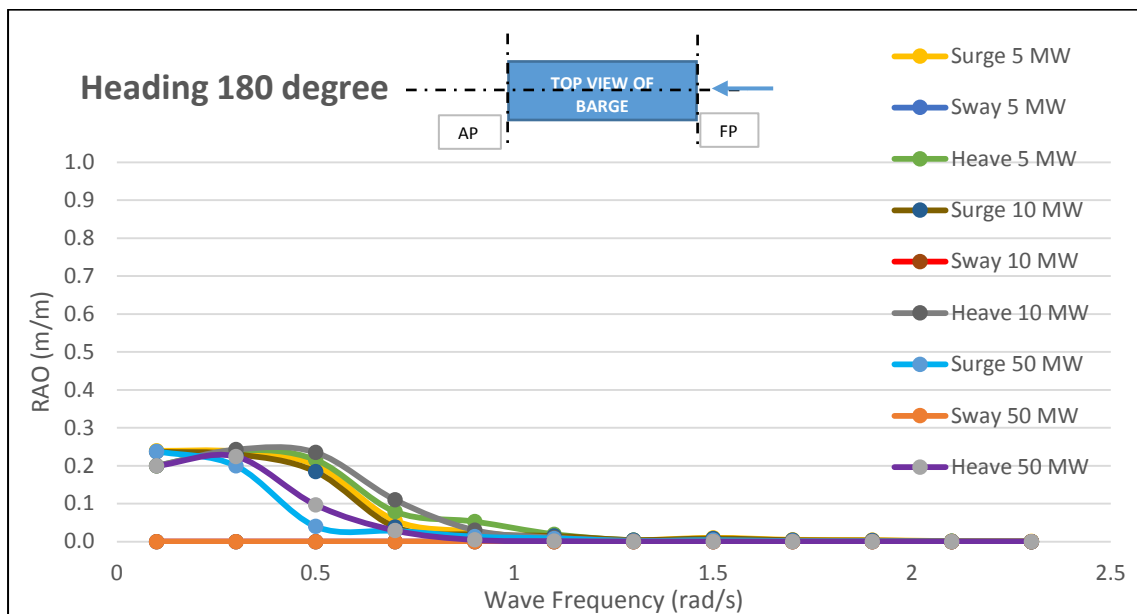
6.4.1 Hasil Kurva RAO pada Sudut 0° dan 180°

Kurva nilai RAO OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW dalam kondisi tertambat dari gerakan translasi *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 0° dan 180° dapat dilihat pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2 di bawah ini. Sedangkan untuk gerakan rotasional, *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 0° dan 180° dapat dilihat pada Gambar 6.18 dan Gambar 6.19.



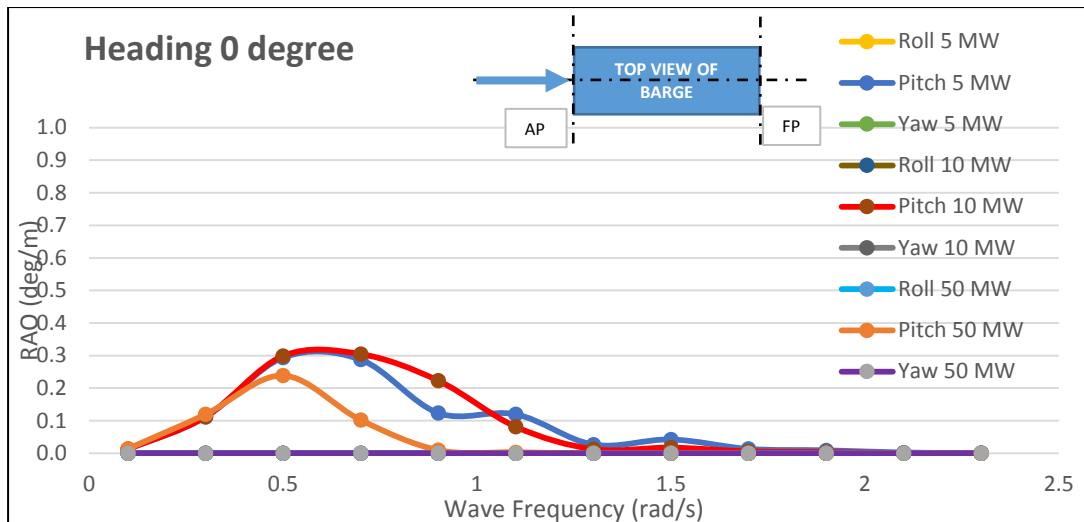
Gambar 6 18 Nilai RAO gerakan *surge*, *sway* *heave* pada sudut 0° .

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC *barge* pada gerakan translasi lebih didominasi oleh gerakan *surge*. Untuk sudut 0° dan 180° memiliki nilai respon yang paling tinggi dari ketiga sudut hadap lainnya mencapai 0.239 m/m. Nilai *surge* tertinggi dari ketiga OTEC *barge* adalah OTEC *barge* 5 MW dengan nilai 0.239 m/m. Ketiga OTEC *barge* memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s.



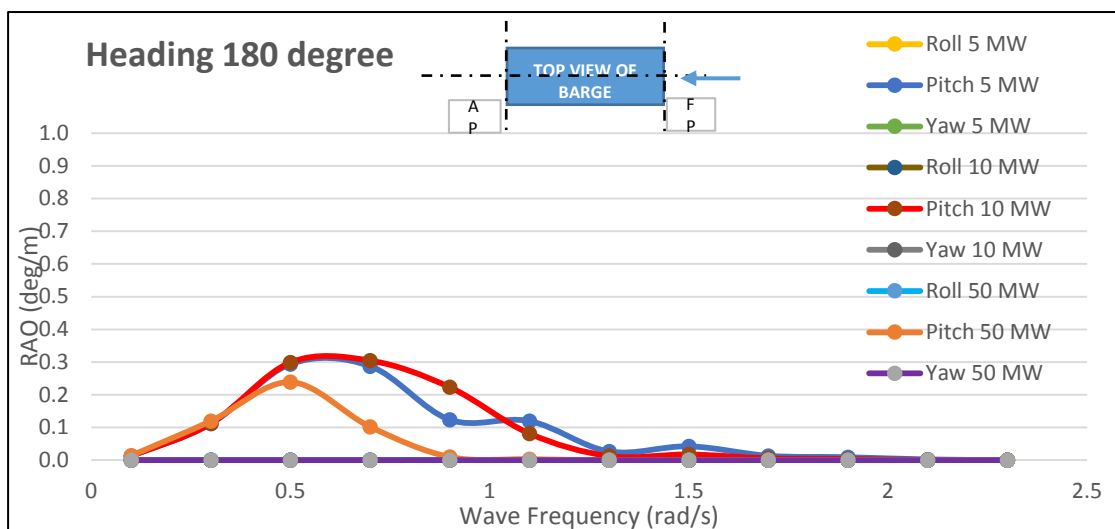
Gambar 6.19 Nilai RAO gerakan *surge*, *sway* *heave* pada sudut 180° .

Nilai respon dari sudut 0° dan 180° tidak memiliki selisih besar. Nilai respon tertinggi dari kedua sudut juga terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s dengan nilai respon terbesar terjadi pada OTEC *barge* 5 MW sebesar 0.239 m/m.



Gambar 6.20 Nilai RAO gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 0° .

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC barge pada gerakan rotasional lebih didominasi oleh gerakan *pitch*. Untuk sudut 0° memiliki nilai respon yang paling tinggi dari ketiga sudut hadap lainnya mencapai 0.3 deg/m yang dimiliki oleh OTEC barge 10 MW. Nilai *pitch* tertinggi dari kedua OTEC barge yang lain adalah pada OTEC barge 5 MW mempunyai nilai 0.29 deg./m dan pada OTEC barge 50 MW memiliki nilai *pitch* tertinggi sebesar 0.23 deg./m. Ketiga OTEC barge memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s.

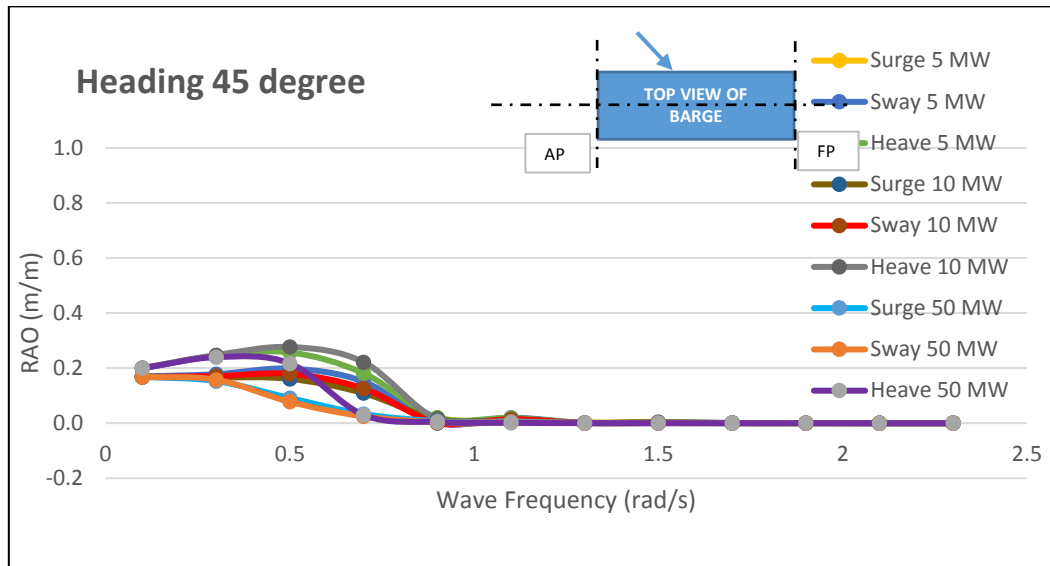


Gambar 6.21 Nilai RAO gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 180°

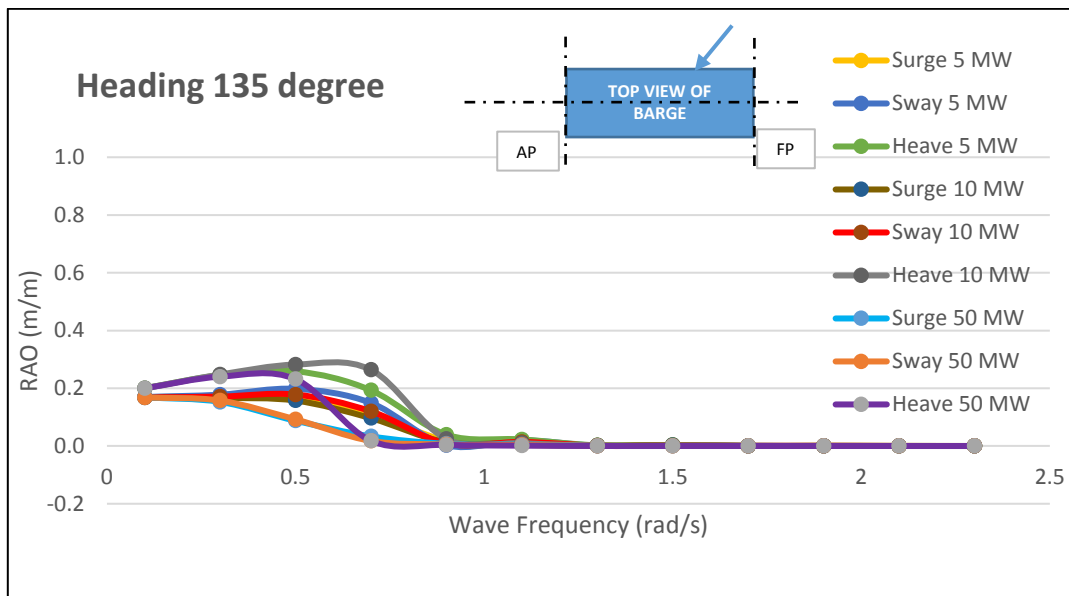
Nilai respon dari sudut 0° dan 180° tidak memiliki selisih besar. Nilai respon tertinggi dari kedua sudut juga terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s dengan nilai respon terbesar terjadi pada OTEC barge 10 MW sebesar 0.3 deg/m.

6.4.2 Hasil Kurva RAO pada Sudut 45° dan 135°

Kurva nilai RAO OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW dari gerakan translasi *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 45° dan 135° dapat dilihat pada Gambar 6.22 dan Gambar 6.23 di bawah ini. Sedangkan untuk gerakan rotasional, *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 45° dan 135° dapat dilihat pada Gambar 6.24 dan Gambar 6.25.



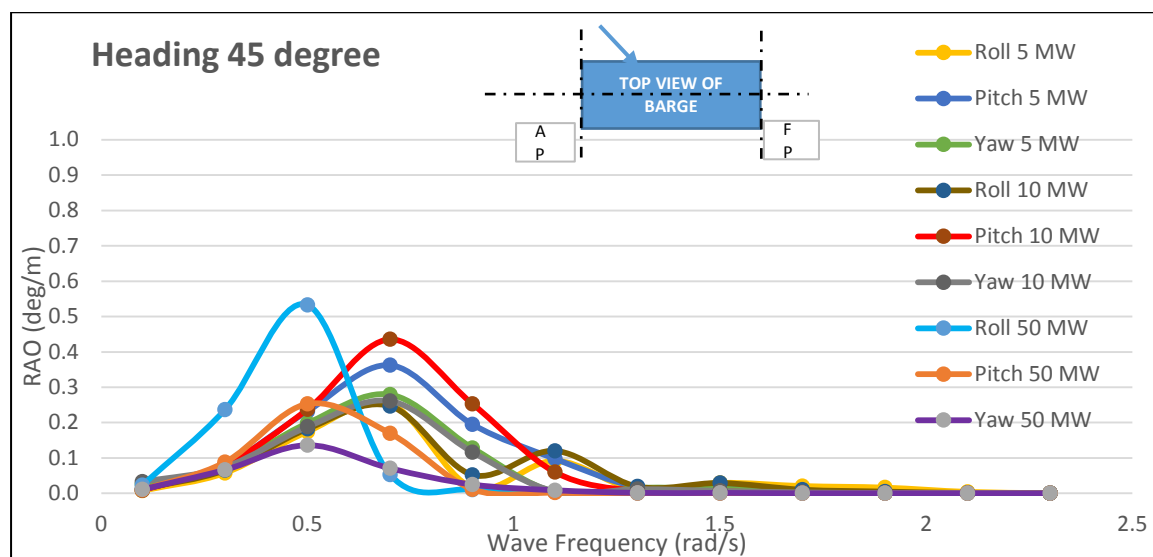
Gambar 6.22 Nilai RAO gerakan *surge*, *sway* *heave* pada sudut 45°



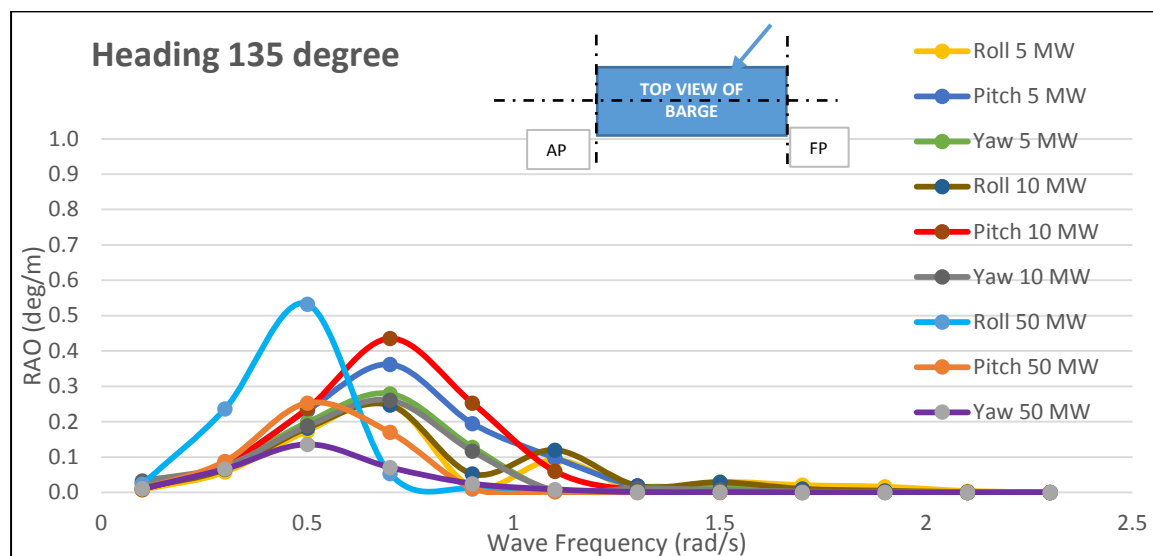
Gambar 6.23 Nilai RAO gerakan *surge*, *sway* *heave* pada sudut 135°

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC *barge* pada gerakan translasi lebih didominasi oleh gerakan *heave*. Untuk sudut 45° dan 135° memiliki nilai respon yang paling tinggi dari ketiga sudut hadap lainnya mencapai 0.27 m/m yang dimiliki oleh OTEC *barge* 10 MW. Nilai *heave* tertinggi dari kedua OTEC *barge* yang lain adalah pada OTEC

barge 5 MW mempunyai nilai 0.25 m/m dan pada *OTEC barge* 50 MW memiliki nilai *heave* tertinggi sebesar 0.23 m/m. Ketiga *OTEC barge* memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Nilai respon dari sudut 45^0 dan 135^0 tidak memiliki selisih besar. Nilai respon tertinggi dari kedua sudut juga terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s.



Gambar 6.24 Nilai RAO gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 45^0



Gambar 6.25 Nilai RAO gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 135^0

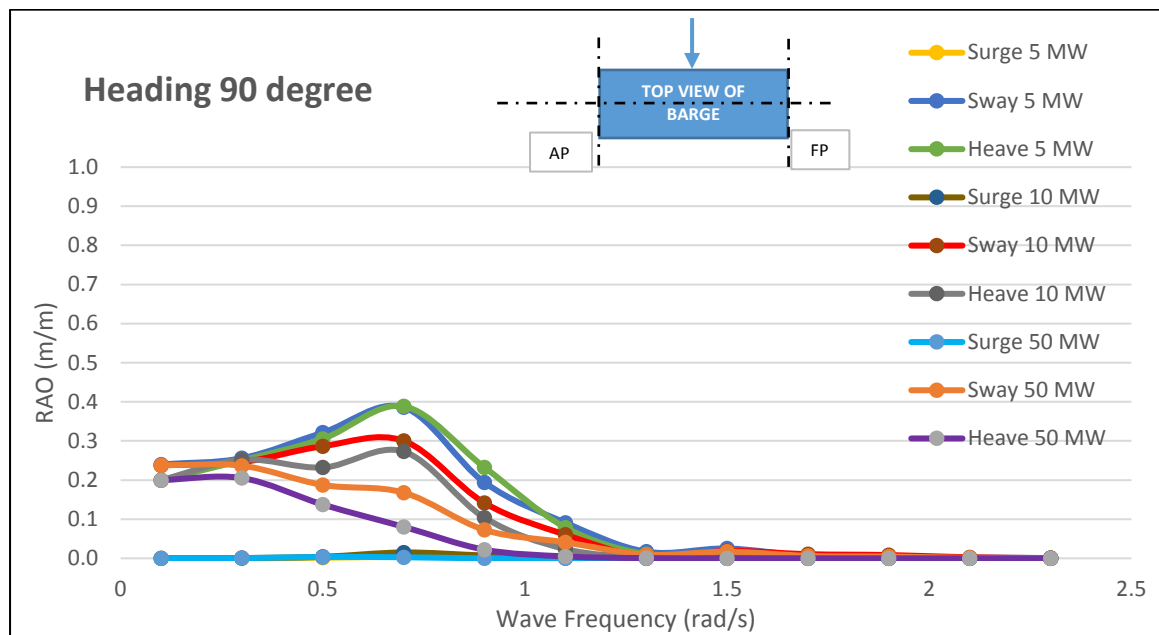
Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga *OTEC barge* pada gerakan rotasional lebih didominasi oleh gerakan *roll*. Untuk sudut 45^0 dan 135^0 memiliki nilai respon yang paling tinggi dari ketiga sudut hadap lainnya mencapai 0.53 deg/m yang dimiliki oleh *OTEC barge* 50 MW. Sedangkan *OTEC barge* yang lain memiliki ilai *pitch* yang tinggi yaitu pada *OTEC barge* 10 MW mempunyai nilai 0.43 deg./m dan pada *OTEC barge* 5 MW memiliki nilai *pitch* tertinggi sebesar 0.25 deg./m. Ketiga *OTEC barge* memiliki nilai respon tertinggi

terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s untuk OTEC barge 50 MW dan 0.7 rad/s untuk OTEC barge 5 MW dan 10 MW. Nilai respon dari sudut 45^0 dan 135^0 tidak memiliki selisih besar.

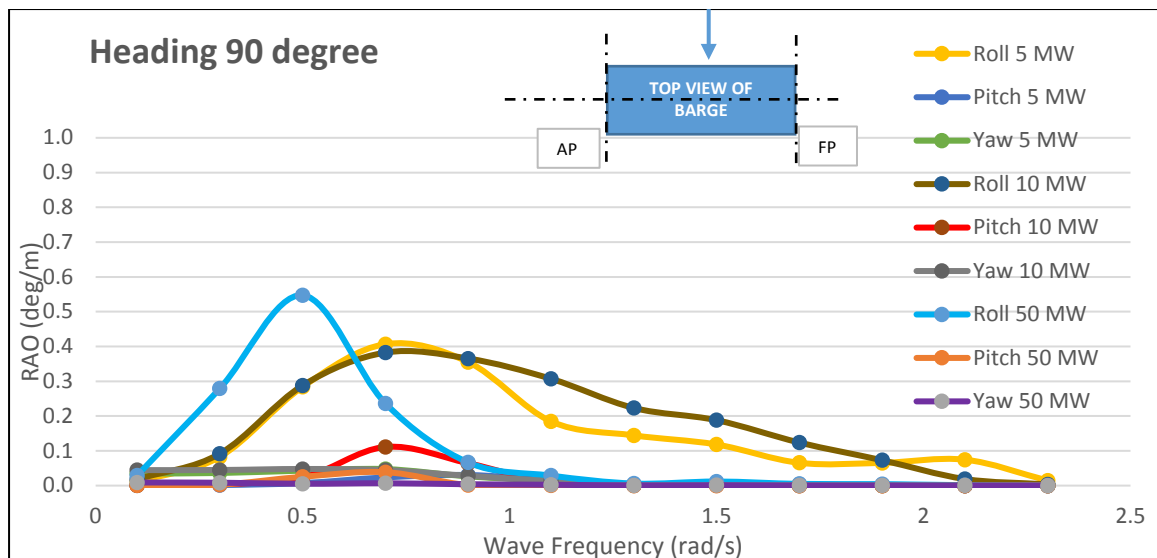
6.4.3 Hasil Kurva RAO pada sudut 90^0

Kurva nilai RAO OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW dari gerakan translasi *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 90^0 dapat dilihat pada Gambar 6.26 di bawah ini. Sedangkan untuk gerakan rotasional, *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 90^0 dapat dilihat pada Gambar 6.27.

Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC *barge* pada gerakan translasi lebih didominasi oleh gerakan *heave*. Untuk sudut 90^0 memiliki nilai respon yang paling tinggi mencapai 0.38 m/m yang dimiliki oleh OTEC barge 5 MW. Nilai *heave* tertinggi dari kedua OTEC *barge* yang lain adalah pada OTEC barge 10 MW mempunyai nilai 0.38 m/m dan pada OTEC barge 50 MW memiliki nilai *sway* tertinggi sebesar 0.238 m/m. Ketiga OTEC barge memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s untuk OTEC barge 5 MW, 0.7 rad/s untuk OTEC barge 10 MW dan 0.5 untuk OTEC barge 50 MW



Gambar 6.26 Nilai RAO gerakan *surge*, *sway*, *heave* pada sudut 90^0



Gambar 6.27 Nilai RAO gerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada sudut 90°

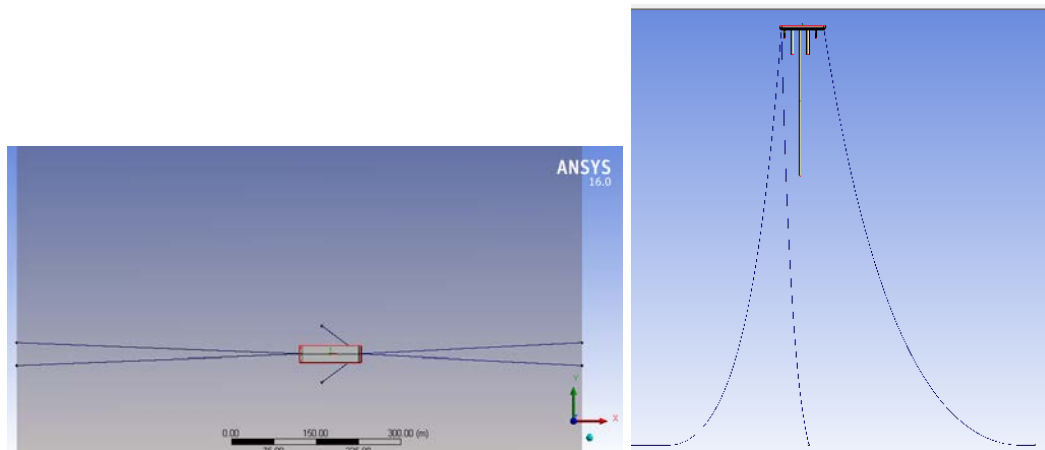
Dari kurva terlihat bahwa untuk ketiga OTEC barge pada gerakan rotasional lebih didominasi oleh gerakan *roll*. Untuk sudut 90° memiliki nilai respon yang paling tinggi mencapai 0.54 deg/m yang dimiliki oleh OTEC barge 50 MW. Sedangkan OTEC barge yang lain memiliki nilai *roll* yang tinggi yaitu pada OTEC barge 10 MW mempunyai nilai 0.38 deg./m dan pada OTEC barge 5 MW memiliki nilai *roll* tertinggi sebesar 0.4 deg./m. Ketiga OTEC barge memiliki nilai respon tertinggi terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s untuk OTEC barge 50 MW dan 0.9 rad/s untuk OTEC barge 5 MW dan 10 MW pada 1.1 rad/s

6.5 Analisis Gaya Tarik Maksimum pada Rantai Jangkar

Analisis tegangan pada rantai jangkar dilakukan untuk mendapatkan nilai gaya tarik (*tension force*) maksimum pada rantai jangkar. Hasil gaya tarik maksimum tersebut digunakan sebagai input beban untuk analisis kekuatan *bollard* dimana rantai jangkar tersebut ditautkan. Beban yang dimasukkan dalam analisis ini adalah beban gelombang, beban angin, dan beban arus 100 tahunan. Analisis *tension* rantai jangkar dilakukan dengan bantuan *software* ANSYS AQWA dengan simulasi time domain analysis pada kondisi *full load* dan *light load*. Untuk menghasilkan teangan maksimum pada rantai jangkar diperlukan simulasi selama 3 jam (10800 s) sesuai anjuran dari DNV E301 (2004). Setelah didapatkan *tension* maksimum, perlu dilakukan cek safety factor. ABS menyatakan bahwa suatu mooring *line* dalam kasus ini adalah rantai jangkar dianggap memenuhi standar keamanan jika nilai :

$$\frac{\text{Maximum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}} = 1.67. \quad (6.1)$$

Arah pembebanan ini dilakukan dengan mengacu pada OCIMF (*Oil Company International Forum*) 2nd edition (1997) yaitu pada *head seas*, *beam seas*, dan *quarterning seas*, serta ditambah pada pembebanan dengan arah yang langsung mengenai rantai jangkar. Pada OTEC rantai jangkar di desain dengan sudut 60° dari OTEC *barge* untuk masing – masing rantai jangkar, sehingga perlu ditambahkan arah pembebanan 60° dan 120°. Gambar 4.55 dan Gambar 6 28 adalah hasil pemodelan pada *software* ANSYS AQWA.



Gambar 6 28 Hasil pemodelan simulasi tertambat

Setelah dilakukan simulasi selama 10800 detik didapatkan hasil *tension* pada rantai jangkar sebagai berikut :

Tabel 6 4 Hasil simulasi *tension force*.

Case	Morring Line	Tension (N)	t(s)	SF
Heading 60°	Line 1	2022190	268	2.933
	Line 2	345473.5	368	17.2019
	Line 3	138269.6	418	42.9798
	Line 4	1943191	233	3.058
Heading 45°	Line 1	1591914	267	3.733117
	Line 2	448123.4	475	3.26153
	Line 3	338096.3	391	13.26153
	Line 4	494537.3	244	12.01689
Heading 180°	Line 1	401157.9	7120	14.81412
	Line 2	393452	7120	15.10426
	Line 3	225647.5	7296	26.33665
	Line 4	222835.4	7296	26.66901
Heading 120°	Line 1	2022190	268	2.933
	Line 2	345473.5	368	17.2019

	Line 3	138269.6	418	42.9798
	Line 4	1943191	233	3.058
	Line 5	401157.9	7120	14.81412
	Line 6	393452	7120	15.10426
<i>Heading</i> 135 ⁰	Line 1	1591914	267	3.733117
	Line 2	448123.4	475	3.26153
	Line 3	338096.3	391	13.26153
	Line 4	494537.3	244	12.01689
	Line 5	401157.9	7120	14.81412
	Line 6	393452	7120	15.10426
<i>Heading</i> 180 ⁰	Line 1	401157.9	7120	14.81412
	Line 2	393452	7120	15.10426
	Line 3	225647.5	7296	26.33665
	Line 4	222835.4	7296	26.66901
	Line 5	401157.9	7120	14.81412
	Line 6	393452	7120	15.10426

Berdasarkan tabel diatas untuk semua OTEC *barge*, tegangan yang terjadi pada rantai jangkar masih memenuhi standar keamanan yang disyaratkan oleh ABS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VII. ANALISIS EKONOMI OTEC BARGE

Pada bab ini menjelaskan analisis ekonomi dari OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW. Analisis ekonomi meliputi kelayakan investasi proyek OTEC *barge* di enam lokasi titik potensi OTEC. Pertama pada bab ini akan dijelaskan bagaimana mendapatkan *fixed cost* dari OTEC *barge* dimulai dengan mendapatkan estimasi harga produksi *barge* sampai mendapatkan estimasi system OTEC, lalu kedua bagaimana melakukan penilaian kelayakan dengan menggunakan analisis IRR (*internal rate of return*) di tiap lokasi dengan batasan peraturan pemerintah mengenai energy terbarukan.

7.1 *Capital Cost of OTEC barge*

Terdapat beberapa komponen dalam menentukan *fixed cost* dari OTEC *barge*, yaitu adalah sebagai berikut (Vega, 2010):

1. Floating Vessel
2. Mooring
3. Submarine Power Cable
4. Seawater Pipes Installed
5. Seawater Pumps Installed
6. Heat Exchanger
7. Turbine Generator
8. Electrical/NH3/C12/Controls
9. Installation Mechanical & Electrical

Nilai biaya yang dikeluarkan untuk komponen nomor 5, 8 dan 9 didapatkan langsung dari penelitian yang sudah ada sebelumnya. Pertama-tama untuk menentukan estimasi harga *barge* maka digunakan persamaan pendekatan yang ada di buku *practical ship design*. Persamaan tersebut menggunakan data berat baja kapal, berat peralatan kapal dan berat permesinan kapal untuk menentukan harga dari kapal itu sendiri. Berikut contoh perhitungan estimasi harga *barge* 5 MW dan rekapitulasi perhitungan harga *barge* untuk tiap pembangkit.

Tabel 7 1 Estimasi harga *barge* (Watson, 2002)

Ship Production Cost Estimation	
Structural Cost (US\$)	$y = -0.0000000011x_3 + 0.00003x_2 - 0.39x + 3972.12$ $R^2 = 0.99$
Machinery Cost(US\$)	$y = -0.0000000001x_4 - 0.00000028x_3 + 0.0042x_2 - 11.6x + 20016.9$ $R^2 = 0.99$
Outfit Cost (US\$)	$y = 0x_4 - 0.00000011x_3 + 0.00049x_2 - 3.16x + 18440.66$ $R^2 = 0.99$

Dengan memasukan data berat pada variable X pada persamaan dari Watson diatas ini maka didapatkan nilai *unit price* untuk tiap komponen (Cst, Cep, Ce&o). Setelah didapatkan nilai *unit price* maka selanjutnya dikalikan dengan input data berat tiap komponen. Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran IV halaman 3.

Tabel 7 2 Contoh perhitungan harga produksi *barge*

<u>1. Hull Part Cost Calculation</u>	
	$W_s = \text{Steel Weight}$ $= 1479.83$ $C_{st} \text{Unit Price for Steel}$ $= \$3456.804$ $\$ \text{Hull Part} = \$5,115,494$
<u>2. Machinery Part Cost Calculation</u>	
	$W_{EP} = \text{Engine Plant Weight}$ $= 140.112$ $C_{EP} = \text{Unit Price for Engine Plant}$ $= \$18472.547$ $\$ \text{Machinery Part} = \$2,588,226$
<u>3. E&O Part Cost Calculation</u>	
	$W_{EP} = \text{Equipment and Outfitting Weight}$ $= 821.8413955$ $C_{EP} = \text{Unit Price for E\&O}$ $= \$16113.650$ $\$ \text{E\&O Part} = \$13,242,865$

Kedua adalah mencari biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi pipa masuk keluarnya air laut. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pipa riser menggunakan bahan FRP. Sehingga digunakan penelitian yang sudah ada sebelumnya mengenai estimasi harga pembuatan pipa menggunakan bahan FRP. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa untuk melakukan persiapan pembuatan pipa, pelapisan dan pemasangan akan menghabiskan biaya sebagai berikut (Lokesh, 2013):

Tabel 7 3 Estimasi Harga FRP (Lokesh, 2013).

FRP Installation Price		Taken (\$/sqft)
Surface preparation	\$8-20/sqft	20
FRP	\$10-20/sqft	20
Misc	\$10-20/sqft	20
Total	\$28-55/sqft	60

Tabel 7 4 Contoh hasil perhitungan luas pipa air dingin tiap lokasi.

No.	Lokasi	Total Cross Sectional Area CW.Pipe (m ²)		
		5 MW	10 MW	50 MW
1.0	Lokasi I	5189.9	7389.0	15987.6
2.0	Lokasi II	4970.0	6949.2	15327.8
3.0	Lokasi III	5409.8	7608.9	16647.3
4.0	Lokasi IV	4970.0	6949.2	15327.8
5.0	Lokasi V	5409.8	7608.9	16647.3
6.0	Lokasi VI	4970.0	6949.2	15327.8

Dapat dilihat pada Tabel 7 4 merupakan salah satu contoh perhitungan luasan pipa air dingin, setelah didapatkan luasan pipa, maka dapat dikalikan dengan harga yang telah diambil di Tabel 7 3. Setelah didapatkan harga dari instalasi pipa *riser* maka dilakukan penambahan harga pipa terkait pemasangan dilaut dan proses pengantaran pipa ke titik lokasi operasi (Vega, 2010).

Tabel 7 5 Estimasi biaya riser

No.	Lokasi		Total Cost of Sea Water Pipe		
			5 MW	10 MW	50 MW
1	Lokasi I	Ditambah biaya Instalasi (6 Mil.) & Deliv.(1 Mil) sebesar 7 Mil. US\$	\$8,537,154	\$9,009,630	\$10,978,320
2	Lokasi II		\$8,488,917	\$8,918,103	\$10,833,609
3	Lokasi III		\$8,585,391	\$9,060,340	\$11,123,031
4	Lokasi IV		\$8,488,917	\$8,918,103	\$10,833,609
5	Lokasi V		\$8,585,391	\$9,060,340	\$11,123,031
6	Lokasi VI		\$8,488,917	\$8,918,103	\$10,833,609

Ketiga adalah melakukan estimasi harga *heat exchanger* dan *turbine generator*. Biaya satu unit alat penukar panas didapatkan dari penelitian yang sudah ada sebelumnya. Dengan adanya biaya per unit HE. & TG. maka dapat dicari estimasi biaya HE. dengan mengkalikan biaya per-unit dengan jumlah HE & TG. yang dibutuhkan pada tiap pembangkit. Berikut pada Tabel 7.6 dibawah ini merupakan harga satu unit tiap HE. & TG. Dan contoh perhitungan pada evaporator dan condensor (Vega, 2010).

Tabel 7.6 Biaya estimasi satu unit HE dan TG (Vega, 2012).

No.	Item	Unit Price (US\$)
1	Evaporator	677,916
2	Condensor	677,916
3	Nh3 Turbine (4 mW)	2,003,806
4	Nh3 Turbine (16 mW)	3,219,071

Tabel 7 7 Contoh perhitungan esitimasi biaya HE.

Pnet	Evaporator		Condensor	
	Quantity	Cost	Quantity	Cost
5	8	\$5,423,326	8	\$5,423,326
10	16	\$10,846,652	16	\$10,846,652
50	72	\$48,809,934	72	\$48,809,934

Keempat adalah menentukan estimasi biaya kabel listrik bawah laut tiap lokasi. Menentukan estimasi biaya kabel bawah laut menggunakan studi yang sudah ada sebelumnya. Studi tersebut menjelaskan estimasi biaya kabel dengan beberapa deskripsi pekerjaan dan harga yang dikeluarkan, lalu harga tersebut ditambahkan margin sebanyak 20% untuk menutupi resiko kerusakan saat pemasangan. Waktu yang diambil untuk lamanya pemasangan adalah 5 hari per-km (Scottish & Southern Energy, 2015).

Tabel 7 8 Deskripsi estimasi biaya kabel listrik bawah laut (Scottish & Southern Energy, 2015).

Description	Cost (US\$)	+Margin (20%)	Unit
Price of Cables	1360	1632	per km
Cable Laying Vessel	1360	1632	per day
Vessel for Installation Protection	1360	1632	per day
Cable Protection Cost	1000	1200	per km

Setelah komponen-komponen tersebut berhasil dihitung maka ditemukan *fixed cost* dari OTEC *barge* pada tiap lokasi. Hasil perhitungan keempat komponen yang telah dihitung terlampir pada Lampiran IV halaman 3-

Tabel 7.9 *Capital cost* OTEC barge Lokasi I dan II.

Lokasi I			Lokasi II		
5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Component	\$M	Percentage	Component	\$M	Percentage
Floating Vessel	20,946,584	32%	Floating Vessel	20,946,584	32%
Mooring	4,816,969	7%	Mooring	4,816,969	7%
Submarine Power Cable	770,400	1%	Submarine Power Cable	513,600	1%
Seawater Pipes Installed	8,537,154	13%	Seawater Pipes Installed	8,488,917	13%
Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%	Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%
Heat Exchanger	10,846,652	16%	Heat Exchanger	10,846,652	16%
Turbine Generator	4,007,612	6%	Turbine Generator	4,007,612	6%
Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%
Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%	Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%
All Component Total	66,342,339	100%	All Component Total	66,037,302	100%
10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%	Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%
Mooring	\$5,738,514.00	6%	Mooring	\$5,738,514.00	6%
Submarine Power Cable	\$770,400.00	1%	Submarine Power Cable	\$513,600.00	1%
Seawater Pipes Installed	\$9,009,629.59	9%	Seawater Pipes Installed	\$8,918,103.01	9%
Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%	Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%
Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%	Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%
Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%	Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%
Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%	Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%
All Component Total	\$95,667,302.73	100%	All Component Total	\$95,318,976.15	100%
50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%	Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%
Mooring	\$11,496,682.16	5%	Mooring	\$11,496,682.16	5%
Submarine Power Cable	\$770,400.00	0%	Submarine Power Cable	\$513,600.00	0%
Seawater Pipes Installed	\$10,978,320.01	5%	Seawater Pipes Installed	\$10,833,608.98	4%
Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%	Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%
Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%	Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%
Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%	Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%
Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%	Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%
All Component Total	\$241,350,499	100%	All Component Total	\$240,948,988	100%

Tabel 7.10 *Capital cost* OTEC barge Lokasi III dan IV.

Lokasi III			Lokasi IV		
5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Component	\$M	Percentage	Component	\$M	Percentage
Floating Vessel	20,946,584	32%	Floating Vessel	20,946,584	32%
Mooring	4,816,969	7%	Mooring	4,816,969	7%
Submarine Power Cable	770,400	1%	Submarine Power Cable	770,400	1%
Seawater Pipes Installed	8,585,391	13%	Seawater Pipes Installed	8,488,917	13%
Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%	Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%
Heat Exchanger	10,846,652	16%	Heat Exchanger	10,846,652	16%
Turbine Generator	4,007,612	6%	Turbine Generator	4,007,612	6%
Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%
Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%	Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%
All Component Total	66,390,576	100%	All Component Total	66,294,102	100%
10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%	Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%
Mooring	\$5,738,514.00	6%	Mooring	\$5,738,514.00	6%
Submarine Power Cable	\$770,400.00	1%	Submarine Power Cable	\$770,400.00	1%
Seawater Pipes Installed	\$9,060,340.42	9%	Seawater Pipes Installed	\$8,918,103.01	9%
Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%	Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%
Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%	Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%
Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%	Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%
Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%	Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%
All Component Total	\$95,718,013.56	100%	All Component Total	\$95,575,776.15	100%
50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%	Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%
Mooring	\$11,496,682.16	5%	Mooring	\$11,496,682.16	5%
Submarine Power Cable	\$770,400.00	0%	Submarine Power Cable	\$770,400.00	0%
Seawater Pipes Installed	\$11,123,031.04	5%	Seawater Pipes Installed	\$10,833,608.98	4%
Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%	Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%
Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%	Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%
Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%	Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%
Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%	Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%
All Component Total	\$241,495,210	100%	All Component Total	\$241,205,788	100%

Tabel 7 11 *Capital cost* OTEC barge Lokasi V dan VI

Lokasi V			Lokasi VI		
5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Component	\$M	Percentage	Component	\$M	Percentage
Floating Vessel	20,946,584	32%	Floating Vessel	20,946,584	32%
Mooring	4,816,969	7%	Mooring	4,816,969	7%
Submarine Power Cable	513,600	1%	Submarine Power Cable	513,600	1%
Seawater Pipes Installed	8,585,391	13%	Seawater Pipes Installed	8,488,917	13%
Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%	Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%
Heat Exchanger	10,846,652	16%	Heat Exchanger	10,846,652	16%
Turbine Generator	4,007,612	6%	Turbine Generator	4,007,612	6%
Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%
Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%	Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%
All Component Total	66,133,776	100%	All Component Total	66,037,302	100%
10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%	Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%
Mooring	\$5,738,514.00	6%	Mooring	\$5,738,514.00	6%
Submarine Power Cable	\$513,600.00	1%	Submarine Power Cable	\$513,600.00	1%
Seawater Pipes Installed	\$9,060,340.42	9%	Seawater Pipes Installed	\$8,918,103.01	9%
Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%	Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%
Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%	Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%
Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%	Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%
Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%	Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%
All Component Total	\$95,461,213.56	100%	All Component Total	\$95,318,976.15	100%
50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%	Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%
Mooring	\$11,496,682.16	5%	Mooring	\$11,496,682.16	5%
Submarine Power Cable	\$513,600.00	0%	Submarine Power Cable	\$513,600.00	0%
Seawater Pipes Installed	\$11,123,031.04	5%	Seawater Pipes Installed	\$10,833,608.98	4%
Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%	Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%
Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%	Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%
Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%	Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%
Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%	Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%
All Component Total	\$241,238,410	100%	All Component Total	\$240,948,988	100%

7.2 Analisis IRR

Untuk melakukan analisis IRR maka diperlukan data dana masuk dan dana keluar dari OTEC *barge*. Dana masuk didapatkan dari peraturan pemerintah yang ditulis di Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No.1404 tahun 2016. Peraturan tersebut menyebutkan harga jual listrik berdasarkan daerah wilayah distribusi. Berikut harga jual listrik pada ke-enam titik lokasi potensi OTEC:

Tabel 7.12 Harga listrik per-daerah wilayah distribusi.

Lokasi	Laut	Wilayah Distribusi	Harga Jual Listrik Rp/Kwh
1	Laut Bali	Madura	2332
2	Laut Samudera Hindia	Jawa Barat	866
3	Laut Banda	Maluku, Seram	2330
4	Laut Banda	Sulawesi Tenggara	1078
5	Selat Makassar	Palu	1016
6	Pulau Talaud	Beo	2332

Dana keluar pada OTEC *barge* meliputi biaya operasi dan perawatan, reparasi dan penggantian, pajak penghasilan, dan bunga pinjaman. Biaya untuk melakukan operasi dan perawatan juga perbaikan dan pergantian didapatkan dari penelitian yang sudah ada sebelumnya. Biaya operasi OTEC *barge* 5 MW sebesar 2 juta dollar amerika per-tahun dan 10 MW dan 50 MW sebesar 3.4 juta dollar amerika per-tahun (Vega, 2010). Untuk mendapatkan biaya perbaikan dan pergantian dilakukan asumsi perbaikan dan pergantian HE dan TG saat menyentuk waktu proyek 15 tahun, sehingga harga total HE dan TG masing masing pembangkit dibagi 15 tahun untuk menyiapkan biaya perbaikan dan pergantian HE dan TG (Vega, 2010).

Pajak penghasilan didapatkan dari peraturan pemerintah, pajak penghasilan mendapatk kompensasi karena melakukan investasi energy terbarukan. Hal ini diatur dalam peraturan Kementrian Keuangan No.21 Bab III yang menjelaskan untuk membayar pajak penghasilan sebesar 5% dari modal yang dikeluarkan selama enam tahun dan ditambah lagi satu tahun jika melakukan penanaman nodal baru di EBT dan ditambah satu tahun lagi jika melakukan pengeluaran investasi lebih dari sepuluh miliar rupiah.

Sebelum melakukan scenario aliran dana yang terjadi pada proyek OTEC *barge* di tiap lokasi perlu ditentukannya *capacity factor* dari pembangkit listrik OTEC yang digunakan. *Capacity factor* yang digunakan sebesar 85%, hal ini didapatkan dari

penelitian yang sudah ada sebelumnya menyebutkan bahwa pembangkit listrik OTEC dapat menggunakan nilai Cf sebesar 80%-90% (William H. Avery, 1994). Hal ini juga dikarenakan Musim di Indonesia yang tidak berubah-ubah dan hanya mempunyai dua musim.

Sehingga dengan scenario pemasukan dan pengeluaran yang telah dijelaskan sebelumnya didapatkan nilai IRR OTEC *barge* pada tiap lokasi dengan asumsi umur proyek selama 35 tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 7.13 Hasil Akhir Skenario Proyek OTEC *barge* 5 MW.

5 MW				
Lokasi	Harga Listrik	Cash in/year	Tahun BEP	IRR
1	2332	\$6,470,440	>35tahun	-
2	866	\$2,402,831	>35tahun	-
3	2330	\$6,464,890	>35tahun	-
4	1078	\$2,991,052	>35tahun	-
5	1016	\$2,819,025	>35tahun	-
6	2332	\$6,470,440	>35tahun	-
Jika ingin memenuhi IRR 11%, maka ditemukan harga listrik yang dijual				
1	5528	\$15,338,161	16 tahun	11.00%
2	5515	\$15,302,090	16 tahun	11.00%
3	5530	\$15,343,710	16 tahun	11.00%
4	5527	\$15,335,386	16 tahun	11.00%
5	5519	\$15,313,189	16 tahun	11.00%
6	5515	\$15,302,090	16 tahun	11.00%
Dengan Catatan sebagai berikut				
Operation and Maintenance Cost (O&M) pertahun bernilai \$2,000,000				
Repair and Replacement (R&R) pertahun bernilai \$7,796,681				
Pinjaman bank sebesar 8% modal selama 15 tahun				
Pajak penghasilan pemerintah sebesar 5% modal selama 8 tahun dan seterusnya 25% penghasilan				

Pada Tabel 7.13 dapat dilihat bahwa OTEC *barge* 5 MW tidak dapat memenuhi BEP pada tahun ke-35 jika mengikuti harga listrik dari pemerintah Indonesia, sehingga jika ingin mendapatkan nilai IRR sebesar 11% dengan OTEC *barge* 5 MW maka perlu dijual listrik pada tiap lokasi sebesar Rp. 5515 – Rp.5530/kwh.

Pada Tabel 7.13 dapat dilihat bahwa OTEC *barge* 10 MW juga tidak dapat memenuhi BEP pada tahun ke-35 jika mengikuti harga listrik dari pemerintah Indonesia, sehingga jika ingin mendapatkan nilai IRR sebesar 11% dengan OTEC *barge* 10 MW maka perlu dijual listrik pada tiap lokasi sebesar Rp. 4.191 - Rp. 4.200/kwh.

Tabel 7 14 Hasil Akhir Skenario Proyek OTEC *barge* 10 MW.

10 MW				
Lokasi	Harga Listrik Rp/kwh	Cash in/year	Tahun BEP	IRR
1	2332	\$12,940,879	>35tahun	-
2	866	\$4,805,661	>35tahun	-
3	2330	\$12,929,781	>35tahun	-
4	1078	\$5,982,105	>35tahun	-
5	1016	\$5,638,050	>35tahun	-
6	2332	\$12,940,879	>35tahun	-
Jika ingin memenuhi IRR 11%, maka ditemukan harga listrik yang dijual				
1	4200	\$23,306,901	16 tahun	11.00%
2	4191	\$23,256,958	16 tahun	11.00%
3	4200	\$23,306,901	16 tahun	11.00%
4	4198	\$23,295,803	16 tahun	11.00%
5	4195	\$23,279,155	16 tahun	11.00%
6	4192	\$23,262,507	16 tahun	11.00%
Dengan Catatan sebagai berikut				
Operation and Maintenance Cost (O&M) pertahun bernilai \$3.400.000				
Repair and Replacement (R&R) pertahun bernilai \$1,981,814				

Tabel 7.15 Hasil Akhir Skenario Proyek OTEC *barge* 50 MW.

50 MW				
Lokasi	Harga Listrik Rp/kwh	Cash in/year	Tahun BEP	IRR
1	2332	\$64,704,397	16 tahun	14.59%
2	866	\$24,028,305	>35tahun	-
3	2330	\$64,648,904	16 tahun	14.56%
4	1078	\$29,910,523	>35tahun	-
5	1016	\$28,190,252	>35tahun	-
6	2332	\$64,704,397	16 tahun	14.62%
Jika ingin memenuhi IRR 11%, maka ditemukan harga listrik yang dijual				
1	2024	\$56,158,533	16 tahun	11.00%
2	2022	\$56,103,041	16 tahun	11.00%
3	2025	\$56,186,280	16 tahun	11.00%
4	2023	\$56,130,787	16 tahun	11.00%
5	2024	\$56,158,533	16 tahun	11.01%
6	2022	\$56,103,041	16 tahun	11.00%
Dengan Catatan sebagai berikut				
Operation and Maintenance Cost (O&M) pertahun bernilai \$3.400.000				
Repair and Replacement (R&R) pertahun bernilai \$7.796.681				

Pada Tabel 7.15 dapat dilihat bahwa OTEC *barge* 50 MW mendapatkan nilai IRR di tiga titik lokasi potensi OTEC, yaitu titik lokasi I sebesar 14.59%, lokasi III sebesar 14.56% dan Lokasi 6 sebesar 14.62%. Masing masing titik lokasi mendapatkan titik BEP di tahun ke-16. Pada OTEC *barge* 50 MW dapat menurunkan harga listrik di tiap daerah jika ingin memenuhi target IRR sebesar 11% dengan range penjualan listrik tiap daerah sebesar Rp. 2.022 – Rp. 2.025 /kwh

Dari ketiga hasil skenario OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW sesuai dengan penelitian yang sudah ada sebelumnya dalam membahas ekonomi OTEC, bahwa semakin besar daya yang dihasilkan OTEC maka akan semakin murah listrik yang akan dijual (Vega, 2010).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VIII. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Thesis ini telah dilakukan proses konsep desain OTEC *barge* 5 MW, 10 MW dan 50 MW untuk enam titik lokasi yang telah ditentukan dan dilanjutkan dengan analisis stabilitas kapal, analisis RAO pada keadaan *floating* dan *mooring* dan yang terakhir analisis ekonomi.

8.1 Kesimpulan

Setelah seluruh proses dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metode *parent based design* didapatkan tiga konsep desain OTEC *barge* untuk wilayah Indonesia dengan daya netto sebesar 5 MW, 10 MW dan 100 MW. Ketiga pembangkit OTEC *barge* ini telah melalui analisis teknis dengan hasil bahwa konsep desain memenuhi kriteria analisis teknis yang telah ditentukan. Sehingga didapatkan ketiga OTEC *barge* memiliki ukuran utama yaitu, untuk OTEC *barge* 5 MW memiliki panjang (L_{pp}) 110 m, lebar (B_{mld}) 30 m, tinggi (H) 9 m, sarat (T) 5 m dan koefisien blok (C_b) 0.97. Untuk OTEC *barge* 10 MW memiliki panjang (L_{pp}) 110 m, lebar (B_{mld}) 32 m, tinggi (H) 16 m, sarat (T) 9 m dan koefisien blok (C_b) 0.97. . Untuk OTEC *barge* 50 MW memiliki panjang (L_{pp}) 200 m, lebar (B_{mld}) 39 m, tinggi (H) 20 m, sarat (T) 16 m dan koefisien blok (C_b) 0.98.
2. Didapatkan estimasi harga investasi OTEC *barge* untuk tiap lokasi untuk 5 MW sebesar US\$ 66,037,302 – 66,390,576, dengan lokasi II dan lokasi VI dilihat paling murah dibandingkan dengan lokasi lainnya. Untuk OTEC *barge* 10 MW tiap lokasi ditaksir mempunyai harga investasi sebesar US\$ 95,461,213 - 95,318,976. Untuk OTEC *barge* 50 MW tiap lokasi ditaksir memiliki harga investasi sebesar US\$ 241,205,788 - 241,238,410. Berdasarkan hasil analisis IRR dengan menggunakan harga listrik pemerintah tidak didapatkan IRR pada OTEC *barge* 5 MW dan 10 MW di setiap lokasi, untuk 50 MW didapatkan hasil IRR untuk lokasi I, III dan VI sebesar 14.59 %, 14.56% dan 14.62%. Untuk mendapatkan nilai IRR 11% untuk setiap lokasi maka pembangkit

OTEC *barge* 5 MW harus menjual listrik seharga Rp. 5,515 - Rp. 5,530, sedangkan 10 MW seharga Rp. 4,191 - Rp. 4,200 dan untuk 50 MW seharga Rp. 2,022 - Rp. 2,025.

3. Hasil studi banding tiap konsep desain OTEC *barge* menghasilkan bahwa setiap konsep desain OTEC *barge* yang diperoleh memiliki hasil kriteria teknis desain yang dianggap telah memenuhi. Perbandingan dasar teknis seperti ukuran dan berat tiap pembangkit berbanding lurus dengan seberapa besar kenaikan daya netto listrik yang dihasilkan. Perbandingan berat dan ukuran utama dari OTEC *barge* ini berdampak langsung dengan analisis gerak struktur yang diberikan pada tiap OTEC *barge*. Terlihat bahwa semakin kecil struktur OTEC *barge* maka akan memberikan hasil respon gerak yang lebih besar dibandingkan dengan struktur OTEC *barge* yang lebih besar. Hasil studi banding OTEC *barge* dilihat dari setiap lokasi terlihat bahwa nilai investasi yang dihasilkan untuk memproduksi OTEC *barge* berbeda-beda dikarenakan titik lokasi operasi dengan pantai yang berbeda-beda dan perbedaan suhu yang mengakibatkan perbedaan diameter pipa yang dibutuhkan untuk tiap pembangkit OTEC *barge*. Berdasarkan analisis ekonomi perbedaan harga di setiap OTEC *barge* besar dipengaruhi oleh banyaknya unit *heat exchanger* yang digunakan untuk memenuhi daya unit yang bisa diberikan OTEC *barge*. Berdasarkan hasil analisis ekonomi perbandingan terhadap lokasi menunjukkan bahwa OTEC *barge* 50 MW lokasi VI kepulauan Talaud mempunyai IRR sebesar 14.62% dengan nilai investasi sebesar US\$ 241,238,410. Sehingga dipilih Kepulauan Talaud sebagai rekomendasi titik lokasi operasi OTEC *barge* dengan pemilihan daya netto sebesar 50 MW.

8.2 Saran

Di luar seluruh pekerjaan yang sudah diselesaikan, tentunya masih banyak permasalahan yang belum bisa dijangkau pada pembahasan pada penelitian ini. Kendala utama yang menyebabkannya adalah keterbatasan waktu. Untuk itu pada bagian ini ditulis beberapa saran sebagai mana dituliskan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukannya perhitungan lebih lengkap mengenai penilaian sistem OTEC terkait banyaknya air laut yang dibutuhkan.
2. Perlu ditambah parameter-parameter sosial, politik dan lingkungan dalam penilaian pemilihan lokasi potensi OTEC.

3. Pemilihan sistem tambat tidak memiliki perbedaan spesifikasi terhadap kondisi kedalaman lokasi operasi OTEC, sehingga selanjutnya perlu dikonsiderasi kedalaman lokasi untuk sistem tambat.
4. Perlu dilakukan penilaian potensi pasar listrik tiap lokasi lebih mendalam untuk membantu pemilihan rekomendasi lokasi operasi OTEC *barge*

DAFTAR PUSTAKA

A. Fanny Octaviani, DKK., 2016. Study of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Generation as Project of Power Plant in West Sumatera-Indonesia. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT* Volume 10, p. 66.

ABS, 2015. *ABS Rule of Building and Classing: Steel Barge 2015*. Houston: American Bureau of Shipping.

Ahadyanti, G. M., 2015. *Studi Optimasi Hull Form FSO di Laut Jawa*, Surabaya: Thesis Fakultas Teknologi Kelautan-ITS.

ANSYS, Inc., 2014. *Ansyst Aqwa Theory Manual*. s.l.:s.n.

Bertram, H. S. a. V., 1998. *Ship Design for Efficiency and Economy*. 2nd penyunt. Oxford: Plant A tree.

Djarmiko, E. B., 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di atas Gelombang Acak*, Surabaya: ITS Press.

G. C. Nihous & L. A. Vega, 1993. Design of a 100 MW OTEC-Hydrogen Plantship. *Marine Structures* 6, p. 210.

Hang Sub Urm, J. G. S., 2004. Ship Design and Construction Voume II. Dalam: *Bulk Carrier*. Jersey City: SNAME, p. 33.1.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral , 2016. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) Tahun 2016-2025*, Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral .

KESDM, 2016. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Negara (PERSERO) Tahun 2016 S.D. 2025*. Jakarta: KESDM.

Kurniawati, H. A., 2013. *Statutory Regulations*. Surabaya: s.n.

Lewis, E. V., 1988. *Principles of Naval Architecture Volume I*. 2nd penyunt. Jersey: The society of Naval Architects and Marine Engineers.

Lokesh, N., 2013. *Cost Estimation of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Repairs on Riser*, Virginia: West Virginia University.

Lynn, P. A., 2014. *Electricity from Wave and Tide, an Introduction to Marine Energy*. Bristol: John Wiley & Sons Ltd.

Mandel, P., 1989. Optimization Method Applied to Ship Design. Dalam: *Optimization Method Applied to Ship Design*. Jersey,USA: SNAME 601 Pavonia Avenue.

Mukhtasor, 2014. *Mengenal Energi Laut*. Surabaya: ICEES.

Mukhtasor, S. E. W. P. A. I. A. M. F. H. P. E. S. E. P. D. I., 2014. *Potensi Energi Laut Indonesia*. Jakarta: Badan Litbang ESDM dan Asosiasi Energi Laut Indonesia.

Nihous, G. C., 2007. A preliminary Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion Resources. *Trans ASME*, p. Vol. 129.

Nihous, G. C., 2007. A Preliminary Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion Resources. *ASME*, pp. 10-17.

Parsons, M. G., 2001. *Parametric Design, Chapter 11*. Michigan: University of Michigan.

Ruud Kempener, Frank Neumann, 2014. *OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION RECHNOLOGY BRIEF*. s.l.:IRENA.

Saputro, L. H., 2016. *DESAIN BARGE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA KONVERSI PANAS AIR LAUT UNTUK WILAYAH KEPULAUAN TALAUD, SULAWESI UTARA*, Surabaya: ITS.

Schneekluth, H. & Betram, V., 1998. *Ship Design for Efficiency and Economy (second edition)*. Oxford: Plant A Tree.

Sholihin, A. R., 2015. *Analisis Gerakan kapal FLNG pada Kondisi Free Floating di Gelombang Reguler dengan Computational Fluid Dynamics*, Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.

Taggart, R., 1980. Ship Design and Construction. Dalam: *Non-Metallic Materials*. New York: SNAME, pp. 356-357.

Tim kurikulum SMK Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, 2003. *Konsep Dasar Perkapalan Rencana Garis*. s.l.:Departemen Pendidikan NASIONAL.

Vega, L. A., 2003. Ocean Thermal Energy Conversion Primer. *Marine Technology Society Journal V.6*, pp. 25-35.

Vega, L. A., 2010. *Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC): An Update*. Houston, Offshore Technology Conference.

Vega, L. A., 2010. First Generation 50 MW OTEC Plantship for the Production of Electricity and Desalinated Water. *Offshore Technology Conference*, pp. OTC 20957, 1-12.

Vega, L. A., 2012. Ocean Thermal Energy Conversion. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer, pp. 7296 - 7328.

Vega, L. A., 2014. *WAVE ENERGY CONVERSION AND OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION POTENTIAL IN DEVELOPING MEMBER COUNTRIES*, Metro Manila: Asian Development Bank.

Watson, D., 1998. *Practical Ship Design, Volume I*. Oxford, UK: Butterworth Heinemann.

Watson, D., 2002. *Practical Ship Design*. 1st penyunt. Oxford: Elsavier Science Ltd..

William H. Avery, C. W., 1994. *Renewable Energy from the Ocean: A Guide to OTEC*. 1st penyunt. Newy York: Oxford University Press.


LAMPIRAN

LAMPIRAN I – ANALISIS TEKNIS DESAIN OTEC BARGE

LAMPIRAN II – ANALISIS STABILITAS BARGE

LAMPIRAN III – ANALISIS RAO DAN WAVE SPECTRUM

LAMPIRAN IV – ANALISIS EKONOMI

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
Riser			

Diketahui					
$\rho =$	1025	kg/m ³	$V_{ww} =$	1.9	m/s
$C_p =$	4	kJ/kg K	$V_{cw} =$	3	m/s
$\gamma =$	2				
$\epsilon_{tg} =$	0.93				

Suhu Air Permukaan Laut dan Suhu Air Dingin Laut (700 m)							
No.	Lokasi	$T_1 (C^o)$	$T_2 (C^o)$	$\Delta T (C^o)$	$T_1 (K^o)$	$T_2 (K^o)$	$\Delta T (K^o)$
1	Laut Flores, Bali Bima	5	27	22	278.2	300.15	22
2	Samudera Hindia, Timor	5	28	23	278.2	301.15	23
3	Banda	5	26	21	278.2	299.15	21
4	L. Banda, Bandaneira	5	28	23	278.2	301.15	23
5	Selat Makasar, Majene	5	26	21	278.2	299.15	21
6	P. Talaud	5	28	23	278.2	301.15	23

No	Pnet (mW)	kW	Pgr(mW)	kW
1	5	5000	7	6500
2	10	10000	13	13000
3	50	50000	65	65000

I. OTEC FLOW RATE

$$P_{net} = \frac{Q_{cw} \rho C_p \epsilon_{tg}}{8T_2} \left\{ \frac{3\gamma}{2(1+\gamma)} \Delta T^2 - 0.18 \Delta T_{design}^2 - 0.12 \left(\frac{\gamma}{2} \right)^{2.75} \Delta T_{design}^2 \right\}$$

$$\gamma = \frac{Q_{ww}}{Q_{cw}} \quad (\text{Nihous et.al., 1989})$$

Perhitungan dibawah ini merupakan langkah untuk mendapatkan nilai *flow rate* air dingin laut dan air permukaan dengan Pnet sebesar 5 mW dilaut Flores, Bali-Bima

$$Q_{cw} = (5000 \times 8 \times 300) / (1025 \times 4 \times 001) \times (((3 \times 2 \times (22^2)) / (2 \times (1 + 2))) - (000 \times 22^2) - (000 \times ((2/2)^{003} \times 22^2)))$$

$$Q_{cw} = 9.29368893 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ww} = 2 \times 000,009$$

$$Q_{ww} = 18.58737786 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan menggunakan perhitungan diatas maka didapatkan *flow rate* air dingin tiap mW dan tiap lokasi sebagai berikut:

$Q_{cw} (m^3/s)$						
No.	Lokasi	Pnet				
		5 mW	10 Mw	25 mW	50 mW	100 mW
1	Laut Flores, Bali Bima	12.08	24.16	60.41	120.82	241.64
2	Samudera Hindia, Timor	11.09	22.18	55.45	110.91	221.82
3	Banda	13.22	26.43	66.08	132.16	264.31
4	L. Banda, Bandaneira	11.09	22.18	55.45	110.91	221.82
5	Selat Makasar, Majene	13.22	26.43	66.08	132.16	264.31
6	P. Talaud	11.09	22.18	55.45	110.91	221.82

Dengan menggunakan perhitungan diatas maka didapatkan *flow rate* air permukaan tiap mW dan tiap lokasi sebagai berikut:

Q_{ww} (m3/s)						
No.	Lokasi	Pnet				
		5 mW	10 Mw	25 mW	50 mW	100 mW
1	Laut Flores, Bali Bima	24.16	48.33	120.82	241.64	483.27
2	Samudera Hindia, Timor	22.18	44.36	110.91	221.82	443.63
3	Banda	26.43	52.86	132.16	264.31	528.63
4	L. Banda, Bandaneira	22.18	44.36	110.91	221.82	443.63
5	Selat Makasar, Majene	26.43	52.86	132.16	264.31	528.63
6	P. Talaud	22.18	44.36	110.91	221.82	443.63

II. HOT AND COLD WATER PIPE

$$A_{cw} = \theta_{cw} / v \quad A_{ww} = \theta_{ww} / v \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Perhitungan dibawah ini merupakan langkah untuk mendapatkan Luasan diameter pipa dengan Pnet sebesar 5 mW di laut Flores, Bali-Bima


$$\begin{aligned} A_{cw} &= 012 / 2 & A_{ww} &= 024 / 2 \\ A_{cw} &= 6.36 \text{ m}^2 & A_{ww} &= 12.72 \text{ m}^2 \\ r &= 1.42 \text{ m} & r &= 2.01 \text{ m} \\ D &= 2.84 \text{ m} \cong 2.90 & D &= 4.02 \text{ m} \cong 5.00 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan diatas maka didapatkan *diameter pipa* air dingin tiap mW dan tiap lokasi sebagai berikut:

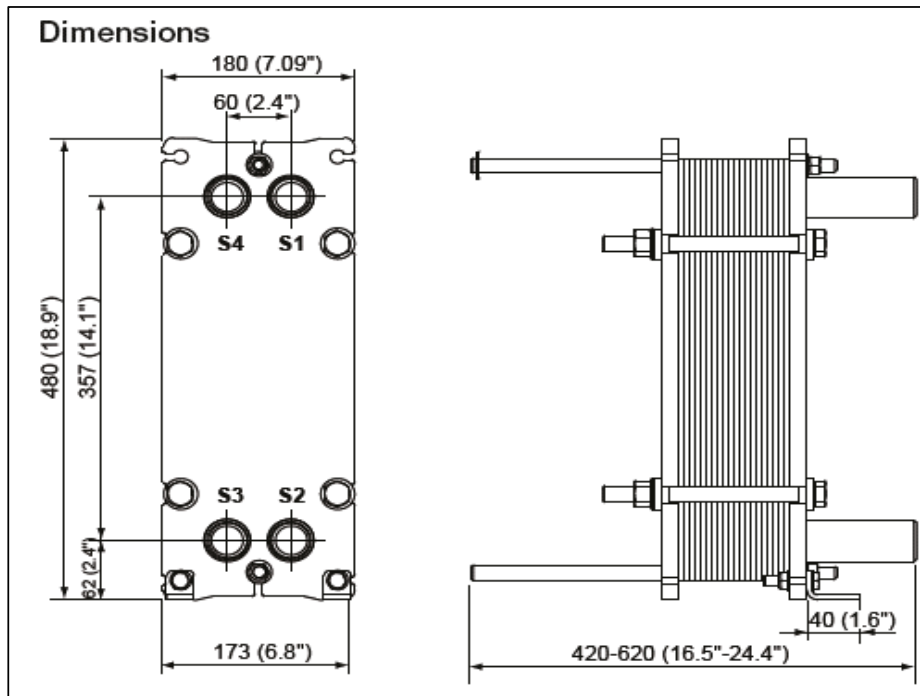
Diameter Pipa Air Dingin (m)						
No.	Lokasi	Pnet				
		5 mW	10 Mw	25 mW	50 mW	100 mW
1	Laut Flores, Bali Bima	2.30	3.30	5.10	7.20	10.20
2	Samudera Hindia, Timor	2.20	3.10	4.90	6.90	9.80
3	Banda	2.40	3.40	5.30	7.50	10.60
4	L. Banda, Bandaneira	2.20	3.10	4.90	6.90	9.80
5	Selat Makasar, Majene	2.40	3.40	5.30	7.50	10.60
6	P. Talaud	2.20	3.10	4.90	6.90	9.80

Dengan menggunakan perhitungan diatas maka didapatkan *diameter* air permukaan tiap mW dan tiap lokasi sebagai berikut:

Diameter Pipa Air Permukaan (m)						
No.	Lokasi	Pnet				
		5 mW	10 Mw	25 mW	50 mW	100 mW
1	Laut Flores, Bali Bima	4.10	5.70	9.00	12.80	18.00
2	Samudera Hindia, Timor	3.90	5.50	8.70	12.20	17.30
3	Banda	4.30	6.00	9.50	13.40	18.90
4	L. Banda, Bandaneira	3.90	5.50	8.70	12.20	17.30
5	Selat Makasar, Majene	4.30	6.00	9.50	13.40	18.90
6	P. Talaud	3.90	5.50	8.70	12.20	17.30


	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
	HE. & TG.		

Diketahui					
$\rho =$	1025	kg/m ³	$v =$	2	m/s
$C_p =$	4	kJ/kg K			
$\gamma =$	2				
$etg =$	0.93				



EVAPORATOR																
No.	Lokasi	Pnet														
		5 mW			10 mW			25 mW			50 mW			100 mW		
Parameter (L x W x H) m		L	W	H	L	W	H	L	W	H	L	W	H	L	W	H
1	Laut Flores, Bali Bima	6	2	6	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
2	Samudera Hindia, Timo	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
3	Banda	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
4	L. Banda, Bandaneira	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
5	Selat Makasar, Majene	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
6	P. Talaud	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
CONDENSOR																
No.	Lokasi	Pnet														
		5 mW			10 mW			25 mW			50 mW			100 mW		
Parameter (L x W x H) m		L	W	H	L	W	H	L	W	H	L	W	H	L	W	H
1	Laut Flores, Bali Bima	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
2	Samudera Hindia, Timo	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
3	Banda	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
4	L. Banda, Bandaneira	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
5	Selat Makasar, Majene	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16
6	P. Talaud	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16	136	46	16

Turbine																	
No.	Lokasi	Pnet															
		5 mW			10 mW			25 mW			50 mW			100 mW			
Parameter (L x W x H) m		L	W	H	L	W	H	L	W	H	L	W	H	L	W	H	
1	Laut Flores, Bali Bima	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	
2	Samudera Hindia, Timo	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	
3	Banda	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	
4	L. Banda, Bandaneira	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	
5	Selat Makasar, Majene	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	
6	P. Talaud	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	30	48	8	
CORE DIMENSIONS																	
No.	Item	L (m)	W (m)	H (m)	mW												
1	Evaporator	6.1	1	4	1												
2	Condensor	6.1	1	4	1												
TURBINE DIMENSIONS																	
1	Nh3 Turbine (5 mW)	17	4	4	4												
2	Nh3 Turbine (10 mW)	17	4	4	4												
3	Nh3 Turbine (20 mW)	12	8	5	16												
4	Nh3 Turbine (50 mW)	12	8	5	16												
5	Nh3 Turbine (100 mW)	12	8	5	16												
Berikut dibawah ini merupakan jarak volume yang dibutuhkan untuk Heat Exchanger (HE). Dan Turbin Generator (T/G)																	
VOLUMETRIC SPACE																	
EVAPORATOR DAN CONDENSOR																	
No.	Pnet (mW)	Pgross	Quantity	L	W	H											
1	5	6.5	8	48.8	8	32											
2	10	13	14	85.4	14	56											
3	25	32.5	34	207	34	136											
4	50	65	66	403	66	264											
5	100	130	130	793	130	520											
VOLUMETRIC SPACE																	
NH3 Turbine																	
No.	Pnet (mW)	Pgross	Quantity	L	W	H											
1	5	6.5	2	34	8	8											
2	10	13	4	68	16	16											
3	25	32.5	4	48	32	20											
4	50	65	6	72	48	30											
5	100	130	10	120	80	50											

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan					
		NRP :	4316203003					
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember Main Dimensions of Barge	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia						
Main Dimensions by Reference								
No.	Reference	Pnet	L	B	H	T	Cb	Displ.
1	Pre-Commercial Plant by Vega	5	122	30	16	9	0.971	32000
3	CC-OTEC by Vega	10	90	32	16	9	0.979	26000
5	LDVM 50 mW by Vega	50	198	39	24	16	0.98	124108
I. Collision Bulkhead								
reff: BKI Ch.2 SECTION 11-2								
2.1.1 A collision bulkhead shall be located at a distance from the forward perpendicular of not less than 0,05 L_c or 10 m, whichever is the less, and, except as may be permitted by the Administration, not more than 0,08 L_c or 0,05 $L_c + 3$ m, whichever is the greater.								
Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai dari collision bulkhead pada pembangkit 5 mW								
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div> <p>Lc Not less than = 0.05×110</p> <p>Lc Not less than = 5.5 m</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> 0,05 L_c </div> <div> <p>(Minimum I)</p> </div> </div>								
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div> <p>Lc Not Greater than = 0.08×110</p> <p>Lc Not Greater than = 8.8 m</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> 0,08 L_c </div> <div> <p>(Maximum I)</p> </div> </div>								
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div> <p>Lc Not Greater than = $0.05 \times 110 + 3$</p> <p>Lc Not Greater than = 8.5 m</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> 0,05 $L_c + 3$ </div> <div> <p>(Maximum II)</p> </div> </div>								
Berikut tabel dibawah ini merupakan rekap perhitungan <i>collision bulkhead</i>								
Collision Bulkhead Minimum By BKI								
No.	Pnet	Mimimu m (1)	Minimu m (2)	Maximum (2)	Maximu m (1)	Take n		
1	5	5.5	10	8.5	8.8	8		
2	10	5.5	10	8.5	8.8	8		
3	50	10	10	13	16	10		
II. Sketching Main Dimensions of Ships								
Didapatkan ukuran utama dari hasil penempatan <i>Heat Exchanger, Turbine</i> , tangki-tangki penyimpanan ammonia, sekat tubrukan (<i>Collision Bulkhead</i>) dan alokasi bangunan akomodasi. Berikut didapatkan ukuran utama kapal untuk tiap tiap pembangkit OTEC								
No.	Pnet	Number of core modules	Main Dimensions					
			L	B	H	T	Cb	
1	5	8	110	30	9	5	0.9715	
2	10	16	110	32	16	9	0.9786	
3	50	72	200	39	20	16	0.98	

III. Check Main Dimensions

Reff: Principle of Naval Architecture Vol.I hlm.19

Perlu dilakukan pengecekan terhadap rasio ukuran utama kapal, apakah secara kekuatan dan stabilitas kapal tersebut dapat beroperasi dengan baik. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk pembangkit 5 mW.

$$\begin{aligned} L_o/B_o &= 3.666667 \text{ PASS} & 3.4 < L/B < 10 \\ L_o/T_o &= 22 \text{ PASS} & 10 < L/T < 30 \\ B_o/T_o &= 6 \text{ PASS} & 1.8 < B/T < 10 \end{aligned}$$

Berikut tabel dibawah ini merupakan rekap perhitungan rasio ukuran utama kapal

No.	Pnet	L/B	Status	L/T	Status	B/T	Status
1	5	3.67	PASS	22.00	PASS	6	PASS
2	10	3.44	PASS	12.22	PASS	3.556	PASS
3	50	5.13	PASS	12.50	PASS	2.438	PASS

IV. Perhitungan LCB dan Displacement

reff: Ship Design for efficiency and economy , Parametric design halaman 19

Setelah didapatkan nilai ukuran utama kapal, maka dapat dicari nilai displasemen dan nilai titik apung dengan menggunakan rumus pendekatan. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut pada pembangkit 5 mW.

$$C_m = \text{midship coefficient} \\ = 1.006 - 0.0056 C_b^{-3.56} \quad [\text{H. Schneekluth and V. Bertram}]$$

$$C_p = \text{prismatic coefficient} \\ = \frac{C_b}{C_m}$$

$$LCB = -13.5 + 19.4 C_p$$

$$\nabla = L \cdot B \cdot T \cdot C_b$$

$$\begin{aligned} &= 16029.144 \text{ m}^3 \\ &= 16429.8725 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$C_m = 1.006 - 0.0056 \times (0.97)^{-3.56}$$

$$C_m = 0.99979202$$

$$C_p = 0.97 / 0.99979$$

$$C_p = 0.97166535$$

$$LCB = -13.50 + 19.4 \times 0.97$$

$$LCB = 5.3503078 \text{ m}$$

Dari Midship

$$LCB = 60.3503078 \text{ m}$$


Dari AP

Berikut dibawah ini merupakan rekap perhitungan LCB dan displasemen untuk setiap pembangkit

No.	Pnet	Ton	∇ Cm	Cp	LCB	
					Midship	AP
1	5	16429.87	0.999792	0.97166535	5.350308	60.35
2	10	31777.78	0.999952	0.97866772	5.486154	54.93
3	50	125361.6	0.999982	0.98001725	5.512335	105.5

Berikut merupakan penyocokan LCB pada model Maxsurf

No.	Pnet	LCB	
		Midship	AP
1	5	-0.0001	55.0001
2	10	0.1	54.9
3	50	0.049	99.951

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
Superstructure and Deckhouse Weight			

I. Superstructure Weight

Untuk merancang berat pada *superstructure* menggunakan persamaan dari Ship Design for Efficiency & Economy - SCHNEEKLUUTH ; page 163-164)
Berikut merupakan contoh perhitungan *Superstructure Weight* untuk pembangkit 5 mW

1.1. Forecastle

$$\begin{aligned}
 \text{panjang } (L_{fc}) &= 10\% \cdot L \\
 &= 11 \quad \text{m (minimal)} \\
 \text{panjang } (L_{fc}) &= 11.000 \quad \text{m (diambil)} \\
 \text{panjang } (L_{fc}) &= 0.000 \quad \text{m} \quad \text{di depan FP} \\
 \text{lebar } (B_{fc}) &= \text{selebar kapal} \\
 &= 30.000 \quad \text{m} \\
 \text{tinggi } (h_{fc}) &= 2.5 - 3.5 \quad \text{m} \\
 &= 2.5 \quad \text{m} \\
 V_{\text{Forecastle}} &= 0.5 \cdot L_{fc} \cdot B_{fc} \cdot h_{fc} \\
 &= 412.5 \quad \text{m}^3 \\
 W_{fc} &= V_{fc} \times C_f & C_f &= 0.1 \quad \text{ton/m}^3 \\
 W_{fc} &= 412.5 \times 0.1 \\
 W_{fc} &= 41.25 \quad \text{ton}
 \end{aligned}$$

1.2 Poop

$$\begin{aligned}
 \text{panjang } (L_p) &= 20.000 \quad \text{m} \quad \text{diambil} \\
 \text{lebar } (B_p) &= \text{selebar kapal} \\
 &= 30.000 \quad \text{m} \\
 \text{tinggi } (h_p) &= 2.5 - 3.5 \quad \text{m} \\
 &= 3 \quad \text{m} \\
 V_{\text{Poop}} &= L_p \cdot B_p \cdot h_p \\
 &= 1800 \quad \text{m}^3 \\
 W_p &= V_p \times C_p & C_p &= 0.075 \quad \text{ton/m}^3 \\
 W_p &= 1800.0 \times 0.075 \\
 W_p &= 135 \quad \text{ton}
 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan berat *superstructure* pada tiap pembangkit

No.	Pnet	Forecastle		Poop	
		Volume (m ₃)	Wfc (ton)	Volume (m ₃)	Wp (ton)
1	5	412.5	41.25	1800	135
2	10	440	44	1920	144
3	50	536.25	53.625	2340	175.5

II. Deckhouse Weight

Untuk merancang berat pada *Deckhouse* menggunakan persamaan dari Ship Design for Efficiency & Economy - SCHNEEKLUTH ; page 163-164)
Berikut merupakan contoh perhitungan *Deckhouse Weight* untuk pembangkit 5 mW

LAYER	PANJANG	LEBAR
I	20% Lpp	B
II	15% Lpp	B-3
III	10% Lpp	B-4
IV	7.5 % Lpp	B-6
Wheel house	5% Lpp	B-8

2.1. Layer II

$$\begin{aligned}
 L &= 15\% \times lpp \\
 &= 16.5 \text{ m (minimal)} \\
 L &= 16.5 \text{ m (diambil)} \\
 B &= 26.00 \text{ m} \\
 H &= 2.5 \text{ m} \\
 \text{Volume} &= 1072.5 \text{ m}^3 \\
 Cs &= 0.07 \\
 W2 &= 75.075 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

2.2 Layer III

$$\begin{aligned}
 L &= 10\% \times lpp \\
 &= 11 \text{ m (minimal)} \\
 L &= 11 \text{ m (diambil)} \\
 B &= 26.00 \text{ m} \\
 H &= 2.5 \text{ m} \\
 \text{Volume} &= 715 \text{ m}^3 \\
 Cs &= 0.07 \\
 W3 &= 50.05 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

B.2.3 Layer IV

$$\begin{aligned}
 L &= 7.5\% \times lpp \\
 &= 8.25 \text{ m (minimal)} \\
 L &= 9 \text{ m (diambil)} \\
 B &= 26.00 \text{ m} \\
 H &= 2.5 \text{ m} \\
 \text{Volume} &= 585 \text{ m}^3 \\
 Cs &= 0.07 \\
 W4 &= 40.95 \text{ ton} \\
 W_{dh} &= W2 + W3 + W4 + W5 + W6 \\
 W_{dh} &= 75.08 + 50.05 + 40.95 + 23.10 \\
 W_{dh} &= 189.175 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

B.2.4 Wheelhouse

$$\begin{aligned}
 L &= 5\% \times lpp \\
 &= 5.5 \text{ m (minimal)} \\
 L &= 6 \text{ m (diambil)} \\
 B &= 22.00 \text{ m} \\
 H &= 2.5 \\
 \text{Volume} &= 330 \text{ m}^3 \\
 Cs &= 0.07 \\
 W5 &= 23.1 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan rekapan perhitungan berat *deckhouse* pada tiap pembangkit

No.	Pnet	Volume (m ³)				Total V (m ³)	Total W _{dh} (ton)
		Layer II	Layer III	Layer IV	Wheelhouse		
1	5	1072.5	715	585	330	2702.5	189.175
2	10	1155	770	630	360	2915	204.05
3	50	1443.75	962.5	787.5	465	3658.75	256.1125

III. Trunk (T/G Room) Weight

Untuk merancang berat pada *Trunk* menggunakan persamaan dari Ship Design for Efficiency & Economy - SCHNEEKLUTH ; page 163-164)
Berikut merupakan contoh perhitungan *Deckhouse Weight* untuk pembangkit 5 mW


$$\begin{aligned}
 L &= 7 \text{ m (diambil)} \\
 B &= 20.00 \text{ m} \\
 H &= 2.5 \text{ m} \\
 \text{Volume} &= 350 \text{ m}^3 \\
 Cs &= 0.07 \\
 W6 &= 24.5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

No.	Pnet	L [m]	B [m]	Volume [m ³]	Setiap OTEC BARGE memiliki 2 T/G room	W _{trunk} [ton]
1	5	7	20	350		49
2	10	7	20	350		49
3	50	10	26.5	662.5		92.75

IV. Total Berat Superstructure dan Deckhouse

Berikut merupakan rekapitulasi total berat SS ($W_{fc}+W_p$) dan DH ($W_{dh}+W_{trunk}$) tiap pembangkit

No.	Pnet	W _{SS} (ton)		W _{dh}		TOTAL (W _{SS&DH})
		W _p (ton)	W _{fc} (ton)	Total W _{dh} (ton)	W _{trunk} [ton]	
1	5	135	41.25	189.175	49	414.425
2	10	144	44	204.05	49	441.05
3	50	175.5	53.625	256.1125	92.75	577.9875

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
Equipment and Outfitting Weight			

Input Data:

No.	Pnet	Main Dimensions				
		L	B	H	T	Cb
1	5	110	30	9	5	0.971463
2	10	110	32	16	9	0.978621
3	25	144	32	16	9	0.98
4	50	200	39	20	16	0.98
5	100	240	50	24	20	0.95

I. EQUIPMENT & OUTFITTING WEIGHT OF BARGE

Pada perhitungan berat E&O akan dibagi terhadap berat E&O untuk barge dan E&O untuk sistem OTEC. Berikut ini merupakan langkah langkah perhitungan tersebut.

$$W_o = C_o \cdot L \cdot B$$

$C_o = \text{Outfit weight coefficient}$

$$C_o = 170.0 \quad \text{kg/m}^2$$

Ship Design For Efficiency & Economy hal 166-172

Group III (Accommodation)

Luas Forecastle =	330 m ²
Berat E&O Forecastle =	56.100 Ton
Luas Poop Deck =	600 m ²
Berat E&O Poop Deck =	102.000 Ton
Luas Boat Deck =	429 m ²
Berat E&O Boat Deck =	72.930 Ton
Luas Capt Bridge Deck =	286 m ²
Berat E&O Capt Bridge Deck =	48.620 Ton
Luas Nav. Deck =	234 m ²
Berat E&O Nav. Deck =	39.780 Ton
Luas Top. Deck =	132 m ²
Berat E&O Top. Deck =	22.440 Ton

Berikut ini merupakan rekapan perhitungan berat *Equipment & Outfitting* pada tiap pembangkit

No.		Forecastle		Poop Deck		Boat Deck	
		Luas (m ²)	Berat E&O (ton)	Luas (m ²)	Berat E&O (ton)	Luas (m ²)	Berat E&O (ton)
1	5	330	56.1	600	102	429	72.93
2	10	352	59.84	640	108.8	462	78.54
3	50	429	72.93	780	132.6	577.5	98.175

No.	Pnet	Capt. Bridge Deck		Nav. Deck		Top Deck	
		Luas (m ²)	Berat E&O (ton)	Luas (m ²)	Berat E&O (ton)	Luas (m ²)	Berat E&O (ton)
1	5	286	48.62	234	39.78	132	22.44
2	10	308	52.36	252	42.84	144	24.48
3	50	385	65.45	315	53.55	186	31.62

No.	Pnet	Luas Main Deck (m ²)	Berat E&O Main Deck (ton)
1	5	2370	402.9
2	10	2528	429.76
3	50	6591	1120.47

Grup IV


$$\begin{aligned}
 C &= 0.2 \text{ ton/m}^2 \\
 W_{IV} &= \sqrt[3]{(L_{PP}^2 \cdot B \cdot H)^2 \cdot C} \\
 &= 77.071395 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Ship Design For Efficiency & Economy hal 172

II. BERAT TOTAL E&O

Berikut merupakan rekapan berat E&O pada Barge tiap pembangkit

Total Berat E&O Barge				
No.	Pnet	Group III (Ton)	Group IV (Ton)	Total (Ton)
1	5	744.770	77.07139547	821.841
2	10	796.620	77.07139547	873.691
3	50	1574.795	77.07139547	1651.866

 <p>Tugas Akhir MN 141581</p> <p>Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p> <p>Machinery Weight</p>	Nama :	Muhamad Fyan				
	NRP :	4316203003				
	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia					

EVAPORATOR & CONDENSOR						
No.	Pnet (mW)	Pgross (Mw)	Quantity	L (m)	W (m)	H (m)
1	5	7	8	48.8	8	32
2	10	14	16	85.4	14	56
3	50	70	72	402.6	66	264

NH3 Turbine						
No.	Pnet (mW)	Pgross	Quantity	L	W	H
1	5	7	2	34	8	8
2	10	14	4	68	16	16
3	50	70	6	72	48	30

I. Unit Sistem OTEC

Berdasarkan spesifikasi teknis yang diberikan, berat dari *heat exchanger* dan *turbine generator* adalah sebagai berikut

No.	Item	Weight per unit (ton)
1	Evaporator	60
2	Condensor	60
3	Nh3 Turbine	90
4	Nh3 Turbine	100

Dengan berat tiap unit seperti tabel diatas, maka total berat HE tiap pembangkit listrik adalah sebagai berikut:

EVAPORATOR & CONDENSOR						
No.	Pnet (mW)	Quantity		Total Weight (ton)		Total Weight of HE (ton)
		Evaporato	Condenso	Evaporato	Condenso	
1	5	8	8	480	480	960
2	10	16	16	960	960	1920
3	50	72	72	4320	4320	8640

Dengan berat tiap unit seperti tabel diatas, maka total berat TG tiap pembangkit listrik adalah sebagai berikut:

No.	Pnet (mW)	Quantity	Total Weight of TG (ton)
1	5	2	180
2	10	4	360
3	50	6	600

II. Unit Elektrik

Berikut ini merupakan generator diesel cadangan untuk digunakan pada sistem OTEC (P_{loss})

No.	Pnet (mW)	Ploss (mW)	Ploss (kW)
1	5	2	2000
2	10	4	4000
3	50	20	20000

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk Pembangkit berukuran 5 mW

$$\begin{aligned}
 W_{gs} &= 0,001 \cdot P_B (15 + 0,014 \cdot P_B) && (ship\ Design\ for\ efficiency\ \& \\
 &= 30.056\ ton && Economy,\ Scnukleeth\ hal\ 176) \\
 &= 60.112\ ton \quad (2\ unit)
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan Rekapitulasi perhitungan berat generator cadangan untuk tiap pembangkit

No.	Pnet (mW)	Ploss (mW)	Ploss (kW)	W _{gs} (ton)	W _{gs} (ton) dua unit
1	5	2	2000	30.056	60.112
2	10	4	4000	60.224	120.448
3	50	20	20000	305.6	611.2

III. Unit Lain-Lain

Berikut merupakan contoh perhitungan W_{other} untuk Pembangkit berukuran 5 mW


$$\begin{aligned}
 W_{ot} &= (0.04 \sim 0.07) \cdot P_B && (ship\ Design\ for\ efficiency\ \& \\
 &= 140\ ton && Economy,\ Scnukleeth\ hal\ 176)
 \end{aligned}$$

No.	Pnet (mW)	Ploss (mW)	Ploss (kW)	W _{ot} (ton)
1	5	2	2000	80
2	10	4	4000	160
3	50	20	20000	800

IV. Berat Total Permesinan

Berikut merupakan rekapitulasi berat total pada sub permesinan pada tiap pembangkit

No.	Pnet (mW)	Total Weight of HE (ton)	Total Weight of TG (ton)	W _{gs} (ton) dua unit	W _{ot} (ton)	TOTAL (ton)
1	5	960	180	60.112	80	1280.112
2	10	1920	360	120.448	160	2560.448
3	50	8640	600	611.2	800	10651.2

	Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
	Riser Weight		

I. Cold Water Pipe Weight

[OTEC, Encyclopedia of Sustainability and Technology, Springer]

Diketahui:

Massa jenis laminasi	=	1714 kg/m ²		
Massa jenis core	=	670 kg/m ³		
Dry Weight	=	1010 kg/m	707000	707
WetWeight	=	33 kg/m	23100	23.1

Pipa air dingin berbahan *fiber reinforced plastic* (FRP), pipa air dingin mempunyai panjang 700 m kedalaman laut. Hal itu berlaku untuk semua pembangkit diberbagai lokasi.

No.	Pnet	Laminate (facesheet) Thickness [m]	Core (Syntatic foam) Thickness [m]	Weight of Laminate (W _L) [ton] one layer	Weight of Core (W _C) [ton]
1	5	0.014	0.05	13.185802	18.40825
2	10	0.014	0.05	13.185802	18.40825
3	50	0.014	0.06	13.185802	22.0899

Setelah itu ditambah dengan dry weight (1.01 ton/m x 700 m) dan wet weight (0.003 ton/m x 700 m) maka.

No.	Pnet	(W _L) [ton] two layer	(W _C) [ton]	(W _{LC}) [ton]
1	5	1440.3716	41.50825	1481.87985
2	10	1440.3716	41.50825	1481.87985
3	50	1440.3716	45.1899	1485.5615

II. Warm Water Pipe Weight

[OTEC, Encyclopedia of Sustainability and Technology, Springer]

Diketahui:

Massa jenis laminasi	=	1714 kg/m ³		
Massa jenis core	=	670 kg/m ³		
Dry Weight	=	1010 kg/m	20200	20.2
WetWeight	=	33 kg/m	660	0.66

Pipa air dingin berbahan *fiber reinforced plastic* (FRP), pipa air permukaan (*warm water*) mempunyai panjang 20 m kedalaman laut. Hal itu berlaku untuk semua pembangkit diberbagai lokasi.

No.	Pnet	Laminate (facesheet) Thickness [m]	Core (Syntatic foam) Thickness [m]	Weight of Laminate (W _L) [ton] one layer	Weight of Core (W _C) [ton]
1	5	0.014	0.05	0.3767372	0.52595
2	10	0.014	0.05	0.3767372	0.52595
3	50	0.014	0.06	0.3767372	0.63114

Setelah itu ditambah dengan dry weight (1.01 ton/m x 20 m) dan wet weight (0.003 ton/m x 20 m) maka.

No.	Pnet	(W _L) [ton] two layer	(W _C) [ton]	Dikarenakan adanya 2 pipa, maka	(W _L) [ton]	(W _C) [ton]	(W _{LC}) [ton]
1	5	41.153474	20.72595		82.306949	41.4519	123.758849
2	10	41.153474	20.72595		82.306949	41.4519	123.758849
3	50	41.153474	20.83114		82.306949	41.66228	123.969229

III. Mixed Water Pipe Weight

[OTEC, Encyclopedia of Sustainability and Technology, Springer]

Diketahui:

Massa jenis laminasi	=	1714 kg/m ²		
Massa jenis core	=	670 kg/m ³		
Dry Weight	=	1010 kg/m	60600	60.6
WetWeight	=	33 kg/m	1980	1.98

Pipa air dingin berbahan *fiber reinforced plastic* (FRP), pipa mix mempunyai panjang 60 m kedalaman laut. Hal itu berlaku untuk semua pembangkit diberbagai lokasi.

No.	Pnet	Laminate (facesheet) Thickness [m]	Core (Syntatic foam) Thickness [m]	Weight of Laminate (W _L) [ton] one layer	Weight of Core (W _C) [ton]
1	5	0.014	0.05	1.1302116	1.57785
2	10	0.014	0.05	1.1302116	1.57785
3	50	0.014	0.06	1.1302116	1.89342


Setelah itu ditambah dengan dry weight (1.01 ton/m x 60 m) dan wet weight (0.003 ton/m x 60 m) maka.

No.	Pnet	(W _L) [ton] two layer	(W _C) [ton]	Dikarenakan adanya 2 pipa, maka	(W _L) [ton]	(W _C) [ton]	(W _{LC}) [ton]
1	5	123.46042	3.55785		246.92085	7.1157	254.036546
2	10	123.46042	3.55785		246.92085	7.1157	254.036546
3	50	123.46042	3.87342		246.92085	7.74684	254.667686

IV. TOTAL BERAT RISER


Berikut merupakan rekapitulasi berat riser pada tiap pembangkit

No.	Pnet (mW)	W _{CW} [ton]	W _{WW} [ton]	W _{MW} [ton]	Total [ton]
1	5	1481.88	123.76	254.04	1859.68
2	10	1481.88	123.76	254.04	1859.68
3	50	1485.56	123.97	254.67	1864.20

 <div>Thesis</div>			Nama :	Muhamad Fyan	
			NRP :	4316203003	
Institut Teknologi Sepuluh Nopember			Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia		
Steel Weight Calculation 5 MW					
STEEL WEIGHT CALCULATION					
[ABS Rule of Building and Classing : Steel Barge 2015]					
part	chapter	section	item		
3	1	1	L	=	110.00 m
			Lkons	=	96%*L
				=	105.60 m
			B	=	30.00 m
			H	=	9.00 m
			T	=	5.00 m
			Cb	=	0.97
			s	=	600 mm
			l	=	2.4 m
			S	=	20.64
3	2	2	3.1 pelat sisi amidship		
			t	=	0.07*L+0.007*s (for L ≤ 150 m)
				=	11.592 mm
			t	:	tebal pelat (mm)
			L	:	panjang barge (m)
			s	:	jarak gading (mm)
3	2	2	3.2 pelat sekat memanjang		
			t	=	0.07*L+0.007*s (for L ≤ 150 m)
				=	4.900 mm
			t	:	tebal pelat (mm)
			L	:	panjang tanki (m)
			s	:	jarak gading (mm)
3	2	2	3.5 pelat alas		
			t	=	0.045*L+0.007*s+1.8 (L ≤ 123 m)
				=	10.75 mm
3	2	2	5.1 tebal pelat sisi minimum pada 0.1L		
			t	=	0.015*L+0.01*s+2.2 (for L ≥ 76 m)
				=	9.78 mm
3	2	2	5.3 tebal pelat alas minimum pada 0.1L		
			t	=	0.055*L+0.01*s+1 (for L ≤ 110 m)
				=	12.81 mm
3	2	2	5.5 tebal bow plating		
			t	=	0.055*L+0.009*s+1 (mm)
				=	12.21 mm
			jadi tebal plat alas pada bow diambil		
				=	12.81 mm
3	2	3	1.1 pelat geladak		
			t	=	0.009*s+2.4 (for s ≤ 760 mm)
				=	7.80 mm
			t	=	(s*(L+48.76))/(26*L+8681) L ≤ 183 m
				=	8.11 mm


3	2	3	1.7 tebal pelat geladak minimum pada 0.1L F t = 0.03*L+0.0036*s+2.8 = 8.13 mm
5	1	1	3.3 beban geladak p = 10.05*d*Cl (kN/m ²) d : sarat kapal (m) Cb : koefisien blok P = 48.816 kN/m ² (beban muatan)
5	1	1	3.3 modulus penampang minimum pemb gldak SM = 7.8*c*h*s*I ² c : 1.25 h : p/7.07 6.904672 s : 0.6 l : 2.4 SM = 232.6598
3	2	5	3.1 modulus penampang pembujur geladak SM = 7.8*chsl ² c : 1.25 h : 0.02*L+0.76 2.96 s : jarak pembujur (m) 0.6 l jarak yang tidak ditumpu (m) 2.4 SM 99.74016 cm ³
5	1	1	3.3 modulus pelintang geladak SM = 4.74*chsl ² = 188.5141 cm ³ c : 1 h : p/7.07 6.904672
3	2	5	3.5 modulus pembujur sisi dan alas SM = 7.8*chsl ² c : 1.34 bottom longitudinal 1.25 side longitudinal h : 5.5 m s : jarak pembujur l : panjang yang tidak ditumpu SM _{pemb alas} = 198.6716 cm ³ SM _{pemb sisi} = 185.328 cm ³
3	2	5	3.7 pelintang sisi dan alas SM = 4.74*chsl ² c : 1.75 for bottom transvere 1.75 for bottom transvere SM _{pel alas} = 157.6714 cm ³

			$SM_{\text{pel sisi}} = 157.6714 \text{ cm}^3$
3	2	6	3.1 sekat tubrukan dari fp = $0.05 \cdot L$ for $L < 200 \text{ m}$ = 5.28 m = 8 taken
3	2	6	3.3 jarak maksimal sekat kedap S = $0.153 \cdot L + 3$ ($L < 122 \text{ m}$) = 19.9668 m
3	2	6	5.1 tebal pelat sekat kedap t = $sk(qh)^{0.5}/c + 1.5$ = 6 mm diambil terbesar = $s/200 + 2.5$ s : jarak penegar : 600 mm k : $(3.075 \cdot \ddot{O}a - 2.077)/(a + 0.272)$
			: 1 a : aspek rasio panel q : $235/Y(24/Y, 34000/Y)$ Y : yield point atau yield strength : 235 N/mm^2 q : 1 h : tinggi sekat hingga geladak : 9 m c : 254 untuk sekat tubrukan : 290 untuk sekat kedap lainnya t_s tubrukan = 8.586614 mm t_s kedap = 7.706897 mm
3	2	6	5.3 modulus penampang penegar SM = $7.8 \cdot chsl^2 Q$ c : 0.56 bila 2 ujung jepit : 0.6 untuk penegar tanpa jepit : 0.7 penegar membujur pada sekat memanjang s : jarak penegar : 0.6 m h : jarak vertikal dari tengah l hingga geladak lambung timbul pada center : 4.5 m l : panjang yang tidak ditumpu : 9 m Q : 1 untuk strength steel biasa SM = 955.2816 cm^3

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember Desain OTEC Plant System	Weight Steel (5 mW)	


masa jenis baja = 7.85 ton/m³

No.	Item	Luas dan Panjang		Jumlah	ukuran diambil		web(mm)		face(mm)		Berat	
1	pelat geladak	3300	m ²	1	9	mm					233	ton
2	pelat sekat memanjang	738	m ³	3	5	mm					29	ton
3	pelat alas	3168	m ²	1	11	mm					274	ton
4	pelat sisi	866	m ²	1	12	mm					82	ton
5	pelat sisi pada 0.1L	99	m ²	1	10	mm					8	ton
6	pelat alas pada 0.1L	330	m ²	1	10	mm					26	ton
7	pembujur geladak	110	m	49	100	cm ³	120	8	80	8	68	ton
8	pelintang geladak	30	m	43	189	cm ³	120	8	80	8	16	ton
9	pembujur sisi	110	m	28	186	cm ³	120	8	80	8	39	ton
10	pembujur alas	106	m	49	199	cm ³	120	8	80	8	65	ton
11	pelintang sisi	9	m	43	158	cm ³	120	8	80	8	5	ton
12	pelintang alas	29	m	36	158	cm ³	120	8	80	8	13	ton
13	pelat sekat tubrukan	270	m ²	1	9	mm					19	ton
14	pelat sekat kedap	270	m ²	1	8	mm					17	ton
15	pelat sekat melintang I	270	m ²	2	8	mm					34	ton
16	pelat sekat melintang II	180	m ²	6	8	mm					68	ton
17	pelat sekat melintang III	270	m ²	2	8	mm					34	ton
18	penegar sekat	9	m	588	956	cm ³	100	6	50	6	37	ton
Total steel weight										=	1065	ton

 <div>Thesis</div>			Nama :	Muhamad Fyan
			NRP :	4316203003
Institut Teknologi Sepuluh Nopember			Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
Steel Weight Calculation 10 MW				
STEEL WEIGHT CALCULATION				
[ABS Rule of Building and Classing : Steel Barge 2015]				
part	chapter	section	item	
3	1	1	L = 110.00 m	
			Lkons = 96% *L	
			= 105.60 m	
			B = 32.00 m	
			H = 16.00 m	
			T = 9.00 m	
			Cb = 0.98	
			s = 600 mm	
			l = 2.4 m	
			S = 20.64	
3	2	2	3.1 pelat sisi amidship	
			t = 0.07*L+0.007*s (for L ≤ 150 m)	
			= 11.592 mm	
			t : tebal pelat (mm)	
			L : panjang barge (m)	
			s : jarak gading (mm)	
3	2	2	3.2 pelat sekat memanjang	
			t = 0.07*L+0.007*s (for L ≤ 150 m)	
			= 4.900 mm	
			t : tebal pelat (mm)	
			L : panjang tanki (m)	
			s : jarak gading (mm)	
3	2	2	3.5 pelat alas	
			t = 0.045*L+0.007*s+1.8 (L ≤ 123 m)	
			= 10.75 mm	
3	2	2	5.1 tebal pelat sisi minimum pada 0.1L	
			t = 0.015*L+0.01*s+2.2 (for L≥ 76 m)	
			= 9.78 mm	
3	2	2	5.3 tebal pelat alas minimum pada 0.1L	
			t = 0.055*L+0.01*s+1 (for L ≤ 110 m)	
			= 12.81 mm	
3	2	2	5.5 tebal bow plating	
			t = 0.055*L+0.009*s+1 (mm)	
			= 12.21 mm	
			jadi tebal plat alas pada bow diambil	
			= 12.81 mm	
3	2	3	1.1 pelat geladak	
			t = 0.009*s+2.4 (for s ≤ 760 mm)	
			= 7.80 mm	
			t = (s*(L+48.76))/(26*L+8681) L ≤ 183 m	
			= 8.11 mm	


3	2	3	1.7 tebal pelat geladak minimum pada 0.1L F $t = 0.03 \cdot L + 0.0036 \cdot s + 2.8$ $= 8.13 \text{ mm}$
5	1	1	3.3 beban geladak $p = 10.05 \cdot d \cdot C_b \text{ (kN/m}^2 \text{)}$ d : sarat kapal (m) C_b : koefisien blok $P = 88.516 \text{ kN/m}^2$ (beban muatan)
5	1	1	3.3 modulus penampang minimum pemb gldak $SM = 7.8 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ c : 1.25 h : $p/7.07$ $= 12.51998$ s : 0.6 l : 2.4 $SM = 421.8733$
3	2	5	3.1 modulus penampang pembujur geladak $SM = 7.8 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ c : 1.25 h : $0.02 \cdot L + 0.76$ $= 2.96$ s : jarak pembujur (m) $= 0.6$ l jarak yang tidak ditumpu (m) $= 2.4$ $SM = 99.74016 \text{ cm}^3$
5	1	1	3.3 modulus pelintang geladak $SM = 4.74 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ $= 341.8255 \text{ cm}^3$ c : 1 h : $p/7.07$ $= 12.51998$
3	2	5	3.5 modulus pembujur sisi dan alas $SM = 7.8 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ c : 1.34 bottom longitudinal $= 1.25$ side longitudinal h : 9 m s : jarak pembujur l : panjang yang tidak ditumpu $SM_{\text{pemb alas}} = 325.099 \text{ cm}^3$ $SM_{\text{pemb sisi}} = 303.264 \text{ cm}^3$
3	2	5	3.7 pelintang sisi dan alas $SM = 4.74 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ c : 1.75 for bottom transvere $= 1.75$ for bottom transvere $SM_{\text{pel alas}} = 258.0077 \text{ cm}^3$

			$SM_{\text{pel sisi}} = 258.0077 \text{ cm}^3$
3	2	6	3.1 sekat tubrukan dari fp = $0.05 \cdot L$ for $L < 200 \text{ m}$ = 5.28 m = 8 taken
3	2	6	3.3 jarak maksimal sekat kedap S = $0.153 \cdot L + 3$ ($L < 122 \text{ m}$) = 19.9668 m
3	2	6	5.1 tebal pelat sekat kedap t = $sk(qh)^{0.5}/c+1.5$ = 6 mm diambil terbesar = $s/200+2.5$ s : jarak penegar : 600 mm k : $(3.075 \cdot \ddot{O}a - 2.077)/(a+0.272)$
			: 1 a : aspek rasio panel q : $235/Y(24/Y, 34000/Y)$ Y : yield point atau yield strength : 235 N/mm^2 q : 1 h : tinggi sekat hingga geladak : 16 m c : 254 untuk sekat tubrukan 290 untuk sekat kedap lainnya t_s tubrukan = 10.94882 mm t_s kedap = 9.775862 mm
3	2	6	5.3 modulus penampang penegar SM = $7.8 \cdot chsl^2 Q$ c : 0.56 bila 2 ujung jepit : 0.6 untuk penegar tanpa jepit : 0.7 penegar membujur pada sekat memanjang s : jarak penegar : 0.6 m h : jarak vertikal dari tengah l hingga geladak lambung timbul pada center : 8 m l : panjang yang tidak ditumpu : 16 m Q : 1 untuk strength steel biasa SM = 5367.398 cm^3

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember Desain OTEC Plant System	Weight Steel (10 mW)	


241350499.3 masa jenis baja = 7.85 ton/m³

No.	Item	Luas dan Panjang		Jumlah	ukuran diambil		web(mm)		face(mm)		Berat
1	pelat geladak	3520	m ²	1	9	mm					249 ton
2	pelat sekat memanjang	1312	m ³	3	5	mm					51 ton
3	pelat alas	3379	m ²	1	11	mm					292 ton
4	pelat sisi	1550	m ²	1	12	mm					146 ton
5	pelat sisi pada 0.1L	176	m ²	1	10	mm					14 ton
6	pelat alas pada 0.1L	352	m ²	1	10	mm					28 ton
7	pembujur geladak	110	m	53	100	cm ³	120	8	80	8	73 ton
8	pelintang geladak	32	m	43	342	cm ³	120	8	80	8	17 ton
9	pembujur sisi	110	m	52	304	cm ³	120	8	80	8	72 ton
10	pembujur alas	106	m	53	326	cm ³	120	8	80	8	70 ton
11	pelintang sisi	9	m	43	259	cm ³	120	8	80	8	5 ton
12	pelintang alas	31	m	36	259	cm ³	120	8	80	8	14 ton
13	pelat sekat tubrukan	512	m ²	1	11	mm					44 ton
	pelat sekat kedap	512	m ³	1	10	mm					40 ton
14	pelat sekat melintang I	512	m ²	2	10	mm					80 ton
	pelat sekat melintang II	320	m ²	6	10	mm					151 ton
	pelat sekat melintang III	512	m ²	2	10	mm					80 ton
15	penegar sekat	16	m	628	5368	cm ³	100	6	50	6	71 ton
Total steel weight										=	1498 ton

 <div>Thesis</div>			Nama :	Muhamad Fyan
			NRP :	4316203003
Institut Teknologi Sepuluh Nopember			Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
Steel Weight Calculation 50 MW				
STEEL WEIGHT CALCULATION				
[ABS Rule of Building and Classing : Steel Barge 2015]				
part	chapter	section	item	
3	1	1	L = 200.00 m	
			Lkons = 96% *L	
			= 192.00 m	
			B = 39.00 m	
			H = 20.00 m	
			T = 16.00 m	
			Cb = 0.97	
			s = 600 mm	
			l = 2.4 m	
			S = 34.41	
3	2	2	3.1 pelat sisi amidship	
			t = 0.03*L+0.007*s + 6 (for L ≥ 150 m)	
			= 15.960 mm	
			t : tebal pelat (mm)	
			L : panjang barge (m)	
			s : jarak gading (mm)	
3	2	2	3.2 pelat sekat memanjang	
			t = (0.03*L+0.007*s + 6)-0,5 (for L ≥ 150 m)	
			= 10.000 mm	
			t : tebal pelat (mm)	
			L : panjang tanki (m)	
			s : jarak gading (mm)	
3	2	2	3.5 pelat alas	
			t = 0.08*L+0.007*s-2,5(L ≥ 123 m)	
			= 17.06 mm	
3	2	2	5.1 tebal pelat sisi minimum pada 0.1L	
			t = 0.015*L+0.01*s+2.2 (for L≥ 76 m)	
			= 11.08 mm	
3	2	2	5.3 tebal pelat alas minimum pada 0.1L	
			t = 0.085*L+0.01*s-2,3 (for L ≥ 110 m)	
			= 20.02 mm	
3	2	2	5.5 tebal bow plating	
			t = 0.055*L+0.009*s+1 (mm)	
			= 16.96 mm	
			jadi tebal plat alas pada bow diambil	
			= 20.02 mm	
3	2	3	1.1 pelat geladak	
			t = 0.009*s+2.4 (for s ≤ 760 mm)	
			= 7.80 mm	
			t = (s*24,83/1615,3-1,1*L (for L ≥ 183 m)	


			= 10.61 mm
3	2	3	1.7 tebal pelat geladak minimum pada 0.1L F t = $0.03 \cdot L + 0.0036 \cdot s + 2.8$ = 10.72 mm
5	1	1	3.3 beban geladak p = $10.05 \cdot d \cdot C_l$ (kN/m ²) d : sarat kapal (m) Cb : koefisien blok P = 156.211 kN/m ² (beban muatan)
5	1	1	3.3 modulus penampang minimum pemb gldak SM = $7.8 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ c : 1.25 h : $p/7.07$ 22.09495 s : 0.6 l : 2.4 SM = 744.5114
3	2	5	3.1 modulus penampang pembujur geladak SM = $7.8 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ c : 1.25 h : $0.02 \cdot L + 0.76$ 4.76 s : jarak pembujur (m) 0.6 l jarak yang tidak ditumpu (m) 2.4 SM 160.393 cm ³
5	1	1	3.3 modulus pelintang geladak SM = $4.74 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ = 603.2452 cm ³ c : 1 h : $p/7.07$ 22.09495
3	2	5	3.5 modulus pembujur sisi dan alas SM = $7.8 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ c : 1.34 bottom longitudinal 1.25 side longitudinal h : 11 m s : jarak pembujur l : panjang yang tidak ditumpu SM _{pemb alas} = 397.3432 cm ³ SM _{pemb sisi} = 370.656 cm ³
3	2	5	3.7 pelintang sisi dan alas SM = $4.74 \cdot c \cdot h \cdot s \cdot l^2$ c : 1.75 for bottom transvere 1.75 for bottom transvere SM _{pel alas} = 315.3427 cm ³

			$SM_{\text{pel sisi}} = 315.3427 \text{ cm}^3$
3	2	6	3.1 sekat tubrukan dari fp = 10 for $L \geq 200 \text{ m}$ = 10 m = 10 taken
3	2	6	3.3 jarak maksimal sekat kedap S = $0,08L$ ($L \geq 122 \text{ m}$) = 15.36 m
3	2	6	5.1 tebal pelat sekat kedap t = $sk(qh)^{0.5}/c+1.5$ = 6 mm diambil terbesar = $s/200+2.5$ s : jarak penegar : 600 mm k : $(3.075 \cdot \ddot{O}a - 2.077)/(a+0.272)$
			: 1 a : aspek rasio panel q : $235/Y(24/Y, 34000/Y)$ Y : yield point atau yield strength : 235 N/mm^2 q : 1 h : tinggi sekat hingga geladak : 20 m c : 254 untuk sekat tubrukan 290 untuk sekat kedap lainnya t_s tubrukan = 12.0641 mm t_s kedap = 10.7527 mm
3	2	6	5.3 modulus penampang penegar SM = $7.8 \cdot chsl^2 Q$ c : 0.56 bila 2 ujung jepit : 0.6 untuk penegar tanpa jepit : 0.7 penegar membujur pada sekat memanjang s : jarak penegar : 0.6 m h : jarak vertikal dari tengah l hingga geladak lambung timbul pada center : 10 m l : panjang yang tidak ditumpu : 20 m Q : 1 untuk strength steel biasa SM = 10483.2 cm^3

 <div>Thesis</div>	Nama :	Muhamad Fyan	
	NRP :	4316203003	
	Weight Steel (50 mW)		
Institut Teknologi Sepuluh Nopember			
Desain OTEC Plant System			

masa jenis baja = 7.85 ton/m³

No.	Item	Luas dan Panjang		Jumlah	ukuran diambil		web(mm)		face(mm)		Berat	
1	pelat geladak	7800.000	m ²	1	11	mm					673.530	ton
2	pelat sekat memanjang	3400.000	m ³	3	10	mm					266.900	ton
3	pelat alas	7488.000	m ²	1	18.00	mm					1058.054	ton
4	pelat sisi	3497.268	m ²	1	16.00	mm					439.257	ton
5	pelat sisi pada 0.1L	400.000	m ²	1	12.00	mm					37.680	ton
6	pelat alas pada 0.1L	780.000	m ²	1	12.00	mm					73.476	ton
7	pembujur geladak	200.00	m	64	161.00	cm ³	120	8	80	8	160.768	ton
8	pelintang geladak	39.000	m	79	604.00	cm ³	120	8	80	8	38.697	ton
9	pembujur sisi	200.000	m	65	371.00	cm ³	120	8	80	8	163.280	ton
10	pembujur alas	192.000	m	64	398.00	cm ³	120	8	80	8	154.337	ton
11	pelintang sisi	20.000	m	79	316.00	cm ³	120	8	80	8	19.845	ton
12	pelintang alas	37.440	m	66	316.00	cm ³	120	8	80	8	31.036	ton
13	pelat sekat tubrukan	780.000	m ²	1	13.00	mm					79.599	ton
14	pelat sekat kedap	780.000	m ³	1	11.00	mm					67.353	ton
15	pelat sekat melintang I	780.000	m ²	2	11.00	mm					134.706	ton
16	pelat sekat melintang II	400.000	m ²	6	11.00	mm					207.240	ton
17	pelat sekat melintang Iii	780.000	m ²	2	11.00	mm					134.706	ton
18	penegar sekat	20.000	m	768	10484.00	cm ³	100	6	50	6	108.518	ton
Total steel weight										=	3848.983	ton

	Thesis		Nama :	Muhamad Fyan
			NRP :	4316203003
Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia			
Crew and Consumable				

I. Crew

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan jumlah *crew* dan berat *crew* pada pembangkit 5 mW

Jumlah Crew

$$\begin{aligned}
 C_{st} &= 1.2 \text{ (Coef steward dept 1,2 - 1.33)} \\
 C_{dk} &= 11.5 \text{ (Coef deck dept. 11,5 - 14,5)} \\
 C_{eng} &= 11 \text{ (Coef engine dept 8,5 - 11,00)} \\
 Zc &= Cst.Cdk.(L.B.H.35/105)^{1/6} + Ceng.(BHP/105)^{1/3} + \text{cadet} \\
 &= 21.3727 \text{ orang} \quad \text{dalam kapal ini ada } 22 \text{ orang}
 \end{aligned}$$

Crew Weight

$$\begin{aligned}
 C_{C\&E} &= 0.17 \text{ ton/person berat rata – rata crew + barang} \\
 W_{C\&E} &= 3.74 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

No.	Ploss (kW)	Main Dimensions				Jumlah Crew	W _{C&E} (ton)
		L (m)	B (m)	H (m)	T (m)		
1	2000	110	30	9	5	22	3.74
2	4000	110	32	16	9	25	4.25
3	20000	200	39	16	9	31	5.27

II. Fuel Oil, Lubricating Oil

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan jumlah berat *fuel oil* pada pembangkit 5 mW.

$$\begin{aligned}
 \text{SFR} &= 0.000183 \text{ ton/kW h} \\
 \text{MCR} &= 2000.000 \text{ kW} \\
 \text{Margin} &= 10\% \quad ; (5\% \sim 10\%) \\
 W_{FO'} &= \text{SFR} \cdot \text{MCR} \cdot \frac{S}{V_s} \cdot (1 + \text{Margin}) \\
 &= 24.312 \text{ ton} \\
 W_{FO} &= \frac{W_{FO'} + 4\% \cdot W_{FO'}}{\pi} \quad ; \text{Diktat IGM Santosa Penambahan 2\% untuk konstruksi dan 2\% untuk ekspansi panas dan } \pi = 0.95 \\
 &= 26.61524 \text{ ton} \\
 \text{SFR} &= 0.0001 \text{ ton/kW h} \quad ; \text{dari data mesin (diambil yang terbesar)} \\
 \text{MCR} &= 2000.000 \text{ kW} \\
 \text{Margin} &= 10\% \quad ; (5\% \sim 10\%) \\
 W_{LO'} &= 13.28525 \text{ ton} \\
 W_{LO''} &= \frac{W_{LO'} + 4\% \cdot W_{LO'}}{\pi} \quad ; \text{Diktat IGM Santosa Penambahan 2\% untuk konstruksi dan 2\% untuk ekspansi panas dan } \pi = 0.9 \\
 &= 15.35184 \text{ ton} \\
 \rho_{DO} &= 900 \text{ kg/m}^3 = 0.9 \text{ ton/m}^3 \\
 V_{lo} &= 15.352 / 0.90 \\
 &= 17.0576 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapan perhitungan berat fuel oil dan lubrication oil pada tiap pembangkit

No.	Ploss (kW)	W _{FO} (ton)	W _{LO} (ton)
1	2000	24.312	14.8204303
2	4000	48.624	29.6408607
3	20000	243.12	148.204303

III. Fresh Water

Berikut merupakan contoh perhitungan berat air tawar untuk pembangkit 5 mW

$$\begin{aligned}
 C_{w1} &= 50 \text{ kg/orang hari} && ; \text{ Koef. untuk cuci, mandi, dan minum kru} \\
 &= 0.002083 \text{ ton/orang jam} \\
 C_{w2} &= 0.005 \text{ ton/HP} && ; \text{ Koef. air tawar untuk pendingin mesin} \\
 W_{FW1} &= C_{w1} \cdot \frac{S}{V_s} \cdot Z_c && ; \text{ Berat air tawar untuk mandi, cuci, minum} \\
 &= 2.76776 \text{ ton} \\
 W_{FW2} &= C_{w2} \cdot \text{BHP} && ; \text{ Berat air tawar untuk pendingin mesin} \\
 &= 13.59619 \text{ ton} \\
 W_{FW \text{ total}} &= (W_{FW1} + W_{FW2}) \cdot 3.5 \\
 &= 57.27383 \text{ ton} \\
 W_{FW} &= W_{FW \text{ total}} + 2\% \cdot W_{FW \text{ total}} && ; \text{ terdapat penambahan koreksi 2\%} \\
 &= 58.41931 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapan hasil perhitungan berat air tawar pada tiap pembangkit

No.	Ploss (kW)	Ploss (HP)	W _{FW1} (ton)	W _{FW2} (ton)	W _{FWtotal} (ton)
1	2000	2719.239	2.76775965	13.59619	16.36395
2	4000	5438.477	3.14518142	27.19239	30.33757
3	20000	27192.39	3.90002496	135.9619	139.862

IV Provision Store

$$\begin{aligned}
 C_{PR} &= 10 \text{ kg/org hari} && ; \text{ Koef. Provision \& Store} \\
 &= 0.000417 \text{ ton/ org jam} \\
 W_{PR} &= C_P \cdot \frac{S}{V_s} \cdot Z_c && ; \text{ Berat Provision \& Store} \\
 &= 0.553552 \text{ ton}
 \end{aligned}$$


Berikut merupakan rekapan hasil perhitungan berat provision store pada tiap pembangkit

No.	Jumlah Crew	W _{PR} (ton)
1	22	0.553552
2	25	0.629036
3	31	0.780005

V Total Weight of Crew and Consumable

Berikut merupakan rekapan hasil total berat Crew and Consumable (W_{C&E} + W_{FO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{PR}) pada tiap pembangkit.

No.	Pnet (mW)	W _{C&E} (ton)	W _{FO} (ton)	W _{LO} (ton)	W _{FWtotal} (ton)	W _{PR} (ton)	W _{tot} (ton)
1	5	3.74	24.3120008	14.82043	16.36395	0.553552	59.78994
2	10	4.25	48.6240015	29.64086	30.33757	0.629036	113.4815
3	50	5.27	243.120008	148.2043	139.862	0.780005	537.2363

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember Mass Flow of Fluid on Board	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	

I. Ammonia

Berat Fluida kerja Ammonia diambil dari penelitian yang sudah ada dan ditambahkan 50% untuk menjadi ammonia cadangan.

No.	Reference	Pnet	Weight of Ammonia (W _{AM}) Ton	50%	Total
1	Pre-Commercial Plant by Vega	5	45	22.5	67.5
2	CC-OTEC by Vega	10	90	45	135
3	50 mW OTEC Plant by Vega	50	450	225	675

II. Warm Water

Berat *warm water* diambil dari volume tangki *warm water* setinggi sarat yang telah di sketch dikalikan dengan masa jenis air laut. Berikut merupakan contoh perhitungan pada pembangkit OTEC Barge 5 mW.

$$W_{ww} = \rho_{sw} \times (V_{ww} \times 2)$$

Diketahui

ρ_{sw} = 1.025 ton/m³ Panjang Tangki = 7 m

Draft (T) = 5 m Lebar Tangki = 20 m

Sehingga

$$W_{ww} = 1.025 \times (7.0 \times 5 \times 20) \times 2$$

$$W_{ww} = 1435 \text{ ton}$$

Berikut merupakan rekapan perhitungan tersebut pada tiap pembangkit.

No.	Pnet (mW)	Volume Tangki (m ³)	Weight of Warm Water (W _{ww}) Ton
1	5	1400	1435
2	10	2520	2583
3	50	14098	14450.45

III. Cold Water

Berat *cold water* diambil dari volume tangki *cold water* setinggi sarat yang telah di sketch dikalikan dengan masa jenis air laut. Berikut merupakan contoh perhitungan pada pembangkit OTEC Barge 5 mW.

$$W_{cw} = \rho_{sw} \times V_{cw}$$

Diketahui

ρ_{sw} = 1.025 ton/m³ Panjang Tangki = 6 m

Draft (T) = 5 m Lebar Tangki = 20 m

Sehingga

$$W_{cw} = 1.025 \times (6.0 \times 5 \times 20)$$

$$W_{cw} = 1230 \text{ ton}$$

Berikut merupakan rekapan perhitungan tersebut pada tiap pembangkit.

No.	Pnet (mW)	Volume Tangki (m ³)	Weight of Cold Water (W _{cw}) Ton
1	5	600	1230
2	10	1080	1107
3	50	5035	5160.875

IV. Mixed Water Discharge

Berat *mixed water discharge* diambil dari volume tangki *mixed water discharge* setinggi sarat yang telah di sketch dikalikan dengan masa jenis air laut. Berikut merupakan contoh perhitungan pada pembangkit OTEC Barge 5 mW.

$$W_{mw} = (\rho_{mw} \times V_{mw})$$

Diketahui

$$\rho_{sw} = 1.025 \text{ ton/m}^3 \quad \text{Panjang Tangki} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Draft (T)} = 5 \text{ m} \quad \text{Lebar Tangki} = 20 \text{ m}$$

Sehingga

$$W_{mw} = 1.025 \times (7.0 \times 5 \times 20)$$

$$W_{mw} = 1435 \text{ ton}$$


Berikut merupakan rekapan perhitungan tersebut pada tiap pembangkit.

No.	Pnet (mW)	Volume Tangki (m ³)	Weight of Cold Water (W _{mw}) Ton
1	5	1400	1435
2	10	2520	2583
3	50	10070	10321.75

V. Total Mass Flow of Fluid on Board

Berikut merupakan rekapan hasil total berat mass flow of fluid on board (W_{AM} + W_{WW} + W_{CW}) pada tiap pembangkit.

No.	Pnet (mW)	Weight of Ammonia (W _{AM}) Ton	Weight of Mix Water Discharge (W _{MW}) Ton	Weight of Warm Water (W _{ww}) Ton	Weight of Cold Water (W _{cw}) Ton	Total Weight (ton)
1	5	67.5	1435	1435	1230	4167.5
2	10	135	2583	2583	1107	6408
3	50	675	10321.75	14450.45	5160.875	30608.08

 <div>Thesis</div>	Nama :	Muhamad Fyan
	NRP :	4316203003
Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
Fixed Ballast		

Input Data:

No.	Pnet (mW)	Main Dimensions				
		L	B	H	T	Cb
1	5	110	30	9	5	0.9714633
2	10	110	32	16	9	0.9786209
3	50	200	39	20	16	0.98

Untuk menentukan *fixed ballast*, pertama-tama dilakukan pengukuran volume pada masing masing tangki ballast. Setelah itu maka dilakukan pengecekan selisih displasemen dan total LWT+DWT, sehingga diketahui berapa berat ballast yang harus diisi pada tangki ballast untuk memenuhi pengecekan displasemen dan lwt dwt

I. Volume Tangki Ballast

Pada sketsa gambar yang telah dilakukan, terdapat 10 tangki ballast pada tiap pembangkit. Berikut volume masing masing tangki ballast tersebut. Pencarian volume tangki menggunakan komando dari CAD Software.


No.	Pnet (mW)	Tangki Ballast (m ³)						
		AP	I (S&P)	II (S&P)	III (S&P)	IV (S&P)	V (S&P)	FP
1	5	1264.2	617.4	2734.2	529.2	2734.2	617.4	2146.2
2	10	2289.28	1254.4	5582.08	1097.6	5582.08	1254.4	3794.6
3	50	4368	3360	15840	2400	15840	3360	7215

II. Margin Displ. And Total LWT+DWT

No.	Item	P _{net} (Mw)				
LWT (ton)		5	10	25	50	100
1	Machinery Plant Weight	1280.11	2560.45	4942.80	10651.20	21124.80
2	Equipment & Outfitting weight	821.84	873.69	1058.65	1651.87	2445.34
3	SS&DH Weight	414.43	441.05	451.55	577.99	897.68
1	Steel Weight	1065.41	1497.73	1497.73	3848.98	3848.98
4	Riser	1859.68	1859.68	1859.68	1864.20	1902.70
5	Total LWT	5441.46	7232.59	9810.40	18594.24	30219.50
DWT (ton)						
1	Mass Flow Fluid Onboard	4167.50	6408.00	8732.25	30608.08	79250.00
2	Crew & Consumable	59.79	113.48	272.31	537.24	1065.49
3	Total DWT	4227.29	6521.48	9004.56	31145.31	80315.49
TOTAL LWT + DWT (ton)						
1	TOTAL LWT + DWT	9668.75	13754.07	18814.96	49739.55	110534.98
SELISIH DISPL & LWT+DWT						
1	Displasemen	16429.872	31777.78	41658.62	125361.6	233700
2	Hasil Selisih	6761.12	18023.71	22843.66	75622.05	123165.02

Sehingga untuk memenuhi perbedaan margin displasemen sebesar 1% maka diberikan penambahan fixed ballast sebesar

No.	Pnet (mW)	Ballast (ton)	Total LWT+ DWT With Ballast (ton)	Selisih Margin (%)
1	5	6598.12	16266.87	0.99
2	10	17711.71	17711.71	0.98
4	50	74392.05	90821.93	0.98

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember Titik Berat (5mW)	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	

Input Data :

Lo =	110.00	m	Lrm =	82.00	m
Lwl =	110.00	m	Lkm =	20	m
Ho =	9.00	m			
Bo =	30.00	m			
To =	5.00	m			
Cb =	0.971				

Input Data :

L _{WW1} =	7.000	m	L _{WW2} =	7.000	m
L _{HE1} =	12.000	m	L _{HE2} =	12.000	m
L _{MW1} =	7.000	m	L _{MW2} =	7.000	m
L _{EV1} =	12.000	m	L _{EV2} =	12.000	m
L _{CW} =	6.000	m			

I. Titik Berat Machinery

Position of Engine Plant Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

TOTAL KG and LCG of Engine Plant, Heat Exchanger & Turbine Generator

Engine Plant

$$\begin{aligned}
 &h_{db} + 0.35 \cdot (H - h_{db}) \\
 KG_{EP} &= 0.35 \times (D' - H_{DB}) \\
 D' &= \text{Tinggi Kamar Mesin} \\
 &= 9.00 \text{ m} \\
 KG_{EP} &= 0.350 \times (9.00) \\
 &= 3.15 \text{ m} \\
 W_{EP} &= 140.112 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 LCG_{EP} &= L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER}) \\
 L_{ER} &= \text{Panjang Kamar Mesin} \\
 &= 20 \text{ m} \\
 L_{FC-FP} &= \text{Panjang f.castle dibelakang FP} \\
 &= 8 \text{ m} \\
 L_{CH} &= \text{Panjang Cargo Hold} \\
 &= 82.000 \text{ m} \\
 LCG_{EP} &= 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 20.00) \\
 &= 100.000 \text{ m (FP)} \\
 &= -45.000 \text{ m (} \phi \text{)}
 \end{aligned}$$

Heat Exchanger I

$$\begin{aligned}
 H_{HE1} &= 4.00 \\
 KG_{HE1} &= 0.5 \times 4.00 \\
 &= 2.000 \text{ m} \\
 W_{HE1} &= 570.000 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{HE1} &= 31.000 \\
 L_{HE1} &= \text{Panjang kearah FP} \\
 &= 52.000 \\
 LCG_{HE1} &= 52.00 + (0.5 \times 31.00) \\
 &= 67.500 \text{ m (FP)} \\
 &= -12.500 \text{ m (} \phi \text{)}
 \end{aligned}$$

Heat Exchanger II

$$\begin{aligned}
 H_{HE2} &= 4.00 \\
 KG_{HE2} &= 0.5 \times 4.00 \\
 &= 2.000 \text{ m} \\
 W_{HE2} &= 570.000 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{HE2} &= 31.000 \\
 L_{HE2} &= \text{Panjang kearah FP} \\
 &= 15.000 \\
 LCG_{HE2} &= 15.00 + (0.5 \times 31.00) \\
 &= 30.500 \text{ m (FP)} \\
 &= 24.500 \text{ m (} \phi \text{)}
 \end{aligned}$$

$$KG_M = ((KG_{HEP} \times W_{EP}) + (KG_{EV1} \times W_{EV1}) + (KG_{EV2} \times W_{EV2})) / W_M$$

$$W_M = 1280.112 \text{ ton}$$

$$KG_M = ((3.150 \times 140.11) + (2.000 \times 570.00) + (570.000 \times 2.00)) / 1280.11$$

$$= 2.125871 \text{ m}$$

$$LCG_M = ((LCG_{EP} \times W_{EP}) + (LCG_{EV1} \times W_{EV1}) + (LCG_{EV2} \times W_{EV2})) / W_M$$

$$W_M = 1280.112 \text{ ton}$$

$$LCG_M = ((100.00 \times 140.11) + (67.50 \times 570.00) + (30.50 \times 570.00)) / 1280.11$$

$$= 54.5821 \text{ m (FP)}$$

$$= 0.418 \text{ m (} \phi \text{)}$$

II. Titik Berat Steel Weight

Position of hull Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Hull

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

$$KG_{ST} = 0.01 \times H \times (46.6 + 0.135 \times (0.82 - C_B) \times ((L / D) ^2)) + 0.008 \times H \times ((L / B) - 6.5)$$

$$= 3.697 \text{ m}$$

$$W_{st} = 1036.4418 \text{ ton}$$

$$LCG_{ST} = -0.15 + LCB \quad (\%L)$$

$$LCB = \% LCB = 0.000 \%L$$

$$LCG_{ST} = -0.15 + 0.000$$

$$= -0.150 \%L$$

$$= -0.165 \text{ m (} \phi \text{)}$$

$$= 55.165 \text{ m (FP)}$$

KG and LCG of Superstructure and Deckhouse

Forecastle

$$KG_{FC} = H + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{FC} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{FC} = 9.000 + (0.5 \times 2.50)$$

$$= 10.250 \text{ m}$$

$$W_{FC} = 41.250 \text{ ton}$$

$$LCG_{FC} = L_{FC-FP} - (1/3 \times L_{FC})$$

$$L_{FC} = 3 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = 8 \text{ m}$$

$$LCG_{FC} = 8.00 - (1/3 \times 3.00)$$

$$= 7.000 \text{ m (FP)}$$

$$= 48.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Poop

$$KG_P = H + (0.5 \times H_P)$$

$$H_P = 3 \text{ m}$$

$$KG_P = 9.000 + (0.5 \times 3.00)$$

$$= 10.5 \text{ m}$$

$$W_P = 135.000 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_P)$$

$$L_P = 20 \text{ m}$$

$$LCG_P = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 20.00)$$

$$= 100.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -45.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Deckhouse

LAYER II

$$KG_{DH2} = H + H_P + (0.5 \times H_{DH})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 9.000 + 3.0 + (0.5 \times 2.50)$$

$$= 13.25 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 75.075 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_P)$$

$$L_{DH} = 16.5 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 16.50)$$

$$= 98.250 \text{ m (FP)}$$

$$= -43.250 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LAYER III

$$KG_{DH} = H + H_p + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 9.000 + 3.0 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 15.75 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 50.050 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_p)$$

$$L_{DH} = 11 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 11.00) \\ = 95.500 \text{ m (FP)} \\ = -40.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LAYER IV

$$KG_{DH} = H + H_p + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 9.000 + 3.0 + 2.5 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 18.25 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 40.950 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_p)$$

$$L_{DH} = 9 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 9.00) \\ = 94.500 \text{ m (FP)} \\ = -39.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Whellhouse

$$KG_{WH} = H + H_p + H_{DH} + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{WH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{WH} = 9 + 3.0 + 2.5 + 2.5 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 20.75 \text{ m}$$

$$W_{WH} = 23.100 \text{ ton}$$

$$LCG_{WH} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{WH})$$

$$L_{WH} = 6 \text{ m}$$

$$LCG_{WH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 6.00) \\ = 93.000 \text{ m (FP)} \\ = -38.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

T/G Room I

$$KG_{TG} = H + (0.5 \times H_p)$$

$$H_{TG} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{TG} = 9.000 + (0.5 \times 2.50) \\ = 10.25 \text{ m}$$

$$W_{TG} = 24.500 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC} + L_{ww2} + L_{HE2} + L_{TG2} + L_{EV2} + L_{CW} + L_{EV1} + (0.5 \times L_{TG1})$$

$$L_{TG1} = 7 \text{ m}$$

$$LCG_{TG} = 8 + 7 + 12 + 7 + 12 + 6 + 12 + (0.5 \times 7) \\ = 67.500 \text{ m (FP)} \\ = -12.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

T/G Room II

$$KG_{TG} = H + (0.5 \times H_p)$$

$$H_{TG} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{TG} = 9.000 + (0.5 \times 2.50) \\ = 10.25 \text{ m}$$

$$W_{TG} = 24.500 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC} + L_{ww2} + L_{HE2} + (0.5 \times L_{TG2})$$

$$L_{TG1} = 7 \text{ m}$$

$$LCG_{TG} = 8 + 7 + 12 + (0.5 \times 7) \\ = 30.500 \text{ m (FP)} \\ = 24.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Superstructure and Deck House

$$KG_{S\&D} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{DH2} \times W_{DH2}) + (KG_{DH3} \times W_{DH3}) + (KG_{DH4} \times W_{DH4}) + (KG_{WH} \times W_{WH}) + (KG_{TG1} \times W_{TG1}) + (KG_{TG2} \times W_{TG2})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 414.425 \text{ ton}$$

$$KG_{S\&D} = ((10.250 \times 41.25) + (10.500 \times 135.00) + (13.250 \times 75.08) + (15.750 \times 50.05) + (18.250 \times 40.95) + (20.750 \times 23.10)) / 414.43 \\ = 12.9149 \text{ m}$$

LCG for Superstructure and Deck House

$$LCG_{S\&D} = ((LCG_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{DH2} \times W_{DH2}) + (LCG_{DH3} \times W_{DH3}) + (LCG_{DH4} \times W_{DH4}) + (LCG_{WH} \times W_{WH}) + (LCG_{TG1} \times W_{TG1}) + (LCG_{TG2} \times W_{TG2})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 414.425 \text{ ton}$$

$$LCG_{S\&D} = ((7.000 \times 41.25) + (100.000 \times 135.00) + (98.250 \times 75.08) + (95.500 \times 50.05) + (94.500 \times 40.95) + (93.000 \times 23.10)) / 414.43 \\ = 82.91903 \text{ m (FP)} \\ = -27.919 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LCG of Correction for Steel Weight

Bulkhead I

$$KG_{BC} = H_{DB} + (0.5 \times (H - H_{DB}))$$

$$KG_{BC} = 0.5 \times (9.000)$$

$$= 4.5 \text{ m}$$

$$W_{BC} = 14.483 \text{ ton}$$

$$LCG_{BC} = L_{FC-FP} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang sebelum bulkhead ke FP}$$

$$= 15.000 \text{ m}$$

$$LB_H = \text{Panjang Bulkhead}$$

$$= 31.000 \text{ m}$$

$$LCG_{BC} = 15.00 + (0.5 \times 31.00)$$

$$= 30.500 \text{ m (FP)}$$

$$= 24.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Bulkhead II

$$KG_{BC} = H_{DB} + (0.5 \times (H - H_{DB}))$$

$$KG_{BC} = 0.5 \times (6.000)$$

$$= 4.5 \text{ m}$$

$$W_{BC} = 14.483 \text{ ton}$$

$$LCG_{BC} = L_{FC-FP} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 52.000 \text{ m}$$

$$LB_H = \text{Panjang Bulkhead}$$

$$= 31.000 \text{ m}$$

$$LCG_{BC} = 52.00 + (0.5 \times 31.00)$$

$$= 67.500 \text{ m (FP)}$$

$$= -12.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Correction Weight

$$KG_C = ((KG_{BC} \times W_{BC}) / W_C)$$

$$W_C = 28.967 \text{ ton}$$

$$KG_C = (4.500 \times 14.48) + (4.500 \times 14.48) / 28.97$$

$$= 4.5 \text{ m}$$

LCG for Correction Weight

$$LCG_C = ((LCG_{BC} \times W_{BC}) + (LCG_{BC} \times W_{BC})) / W_C$$

$$W_C = 28.967 \text{ ton}$$

$$LCG_C = ((30.500 \times 14.48) + (67.500 \times 14.48)) / 28.97$$

$$= 49 \text{ m (FP)}$$

$$= 6.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

TOTAL KG and LCG of Steel Weight

$$KG_S = ((KG_{Hrc} \times W_{Hrc}) + (KG_{S\&D} \times W_{S\&D}) + (KG_C \times W_C)) / W_{rc}$$

$$W_{ST} = 1479.833 \text{ ton}$$

$$KG_S = ((3.697 \times 1036.44) + (12.915 \times 414.43) + (4.500 \times 28.97)) / 1479.83$$

$$= 6.294137 \text{ m}$$

$$LCG_{ST} = ((LCG_{HS} \times W_{HS}) + (LCG_{S\&D} \times W_{S\&D}) + (LCG_C \times W_C)) / W_{rc}$$

$$W_{ST} = 1479.833 \text{ ton}$$

$$LCG_{ST} = ((55.17 \times 1036.44) + (82.92 \times 414.43) + (49.00 \times 28.97)) / 1479.83$$

$$= 62.81694 \text{ m (FP)}$$

$$= -7.817 \text{ m (} \phi \text{)}$$

III. Position of Equipment and Outfitting Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Group III (Living Quarter)

Forecastle

$$\begin{array}{l|l} W_{FC} = 56.100 \text{ ton} & LCG_{FC} = 7.000 \text{ m (FP)} \\ KG_{FC} = 10.250 \text{ m} & = 48.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Poop

$$\begin{array}{l|l} W_P = 102.000 \text{ ton} & LCG_P = 100.000 \text{ m (FP)} \\ KG_P = 10.500 \text{ m} & = -45.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Layer II

$$\begin{array}{l|l} W_{DH} = 72.930 \text{ ton} & LCG_{DH} = 98.250 \text{ m (FP)} \\ KG_{DH} = 13.250 \text{ m} & = -43.250 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Layer III

$$\begin{array}{l|l} W_{DH} = 48.620 \text{ ton} & LCG_{DH} = 95.500 \text{ m (FP)} \\ KG_{DH} = 15.750 \text{ m} & = -40.500 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Layer IV

$$\begin{array}{l|l} W_{DH} = 39.780 \text{ ton} & LCG_{DH} = 94.500 \text{ m (FP)} \\ KG_{DH} = 18.250 \text{ m} & = -39.500 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Wheelhouse

$$\begin{array}{l|l} W_{WH} = 22.440 \text{ ton} & LCG_{WH} = 93.000 \text{ m (FP)} \\ KG_{WH} = 20.750 \text{ m} & = -38.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Main Deck

$$\begin{array}{l|l} W_{MD} = 402.900 \text{ ton} & LCG_{MD} = 55.000 \text{ m (FP)} \\ KG_{MD} = 9.000 \text{ m} & = 0.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

KG for Group III

$$KG_{GIII} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{DH2} \times W_{DH2}) + (KG_{DH3} \times W_{DH3}) + (KG_{DH4} \times W_{DH4}) + (KG_{WH} \times W_{WH}) + (KG_{TG} \times W_{TG}) + (KG_{TG} \times W_{TG})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 744.770 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} KG_{GIII} &= ((56.100 \times 10.25) + (102.000 \times 10.50) + (72.930 \times 13.25) + (48.620 \times 15.75) + (39.780 \times 18.25) + (22.440 \times 20.75)) / 744.77 \\ &= 11.00451 \text{ m} \end{aligned}$$

LCG for Group III

$$LCG_{GIII} = ((LCG_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{DH2} \times W_{DH2}) + (LCG_{DH3} \times W_{DH3}) + (LCG_{DH4} \times W_{DH4}) + (LCG_{WH} \times W_{WH})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 744.770 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} LCG_{GIII} &= ((7.000 \times 56.10) + (100.000 \times 102.00) + (98.250 \times 72.93) + (95.500 \times 48.62) + (94.500 \times 39.78) + (93.000 \times 22.44)) / 744.77 \\ &= 67.68118 \text{ m (FP)} \\ &= -12.681 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

KG and LCG of Group IV (Miscellaneous)

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 173

KG for Group IV

$$\begin{aligned} \text{KG}_{\text{GIV}} &= 1.00 \sim 1.05 \text{ H} \\ &= 1.05 \times 9.000 \\ &= 9.45 \text{ m} \\ \text{W}_{\text{IV}} &= 77.071 \text{ ton} \end{aligned}$$

LCG for Group IV (asumsi tersebar merata)

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{GIV}} &= 0.5 \times L \\ &= 0.5 \times 110.00 \text{ ton} \\ &= 55 \text{ m (FP)} \\ &= 0.000 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

TOTAL KG and LCG of Equipment and Outfitting

$$\begin{aligned} \text{KG}_{\text{E\&O}} &= ((\text{KG}_{\text{GIII}} \times \text{W}_{\text{GIII}}) + (\text{KG}_{\text{GIV}} \times \text{W}_{\text{GIV}})) / \text{W}_{\text{E\&O}} \\ \text{W}_{\text{E\&O}} &= 821.841 \text{ ton} \\ \text{KG}_{\text{E\&O}} &= ((11.005 \times 744.77) + (9.450 \times 77.07)) / 821.84 \\ &= 10.858728 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{E\&O}} &= ((\text{LCG}_{\text{GIII}} \times \text{W}_{\text{GIII}}) + (\text{LC}_{\text{GIV}} \times \text{W}_{\text{GIV}})) / \text{W}_{\text{E\&O}} \\ \text{W}_{\text{E\&O}} &= 821.841 \text{ ton} \\ \text{LCG}_{\text{E\&O}} &= ((67.681 \times 744.77) + (55.000 \times 744.77)) / 821.84 \\ &= 66.491953 \text{ m (FP)} \\ &= -11.492 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

IV. Payload

Position of Payload Center of Mass

KG and LCG of Payload

$$KG_{pay} = (H-Hdb) \times 0.5 + Hdb$$

$$KG_{pay} = 5 \times 0.01$$

$$KG_{pay} = 2.5 \text{ m}$$

$$W_{pay} = 4167.5$$

$$LCG_{pay} = L_{FC-FP} + L_{rm} \times 0.5$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$L_{rm} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 82.000 \text{ m}$$

$$LCG_{pay} = 8.0 + 82.0 \times 0.5$$

$$LCG_{pay} = 49.000 \text{ m (FP)}$$

$$6.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

V. Position Crew and Consumable Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Crew

Poop

$$\text{Crew} = 8$$

$$\text{Total Crew} = 22$$

$$W_P = 1.360 \text{ ton}$$

$$KG_P = 10.500 \text{ m}$$

$$LCG_P = 100.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -45.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Layer II

$$\text{Crew} = 5$$

$$\text{Total Crew} = 22$$

$$W_{DH} = 0.850 \text{ ton}$$

$$KG_{DH} = 13.250 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 98.250 \text{ m (FP)}$$

$$= -43.250 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Layer III

$$\text{Crew} = 5$$

$$\text{Total Crew} = 22$$

$$W_{DH} = 0.850 \text{ ton}$$

$$KG_{DH} = 15.750 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 95.500 \text{ m (FP)}$$

$$= -40.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Layer IV

$$\text{Crew} = 3$$

$$\text{Total Crew} = 22$$

$$W_{DH} = 0.510 \text{ ton}$$

$$KG_{DH} = 18.250 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 94.500 \text{ m (FP)}$$

$$= -39.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Crew

$$KG_{C\&E} = ((KG_P \times W_P) + (KG_{DHii} \times W_{DHii}) + (KG_{DHiii} \times W_{DHiii}) + (KG_{DHiv} \times W_{DHiv})) / W_{C\&E}$$

$$W_{C\&E} = 3.740 \text{ ton}$$

$$KG_{C\&E} = ((1.360 \times 10.50) + (0.850 \times 13.25) + (0.850 \times 15.75) + (0.510 \times 18.25)) / 3.74$$

$$= 12.89773 \text{ m}$$

LCG for Crew

$$LCG_{C\&E} = ((LCG_P \times W_P) + (LCG_{DHii} \times W_{DHii}) + (LCGDH_{iii} \times WDH_{iii}) + (LCGDH_{iv} \times WDH_{iv})) / W_{C\&E}$$

$$W_{C\&E} = 3.740 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{C\&E} = ((100.000 \times 1.36) + (98.250 \times 0.85) + (95.500 \times 0.85) + (94.500 \times 0.51)) / 3.74$$

$$= 93.28409 \text{ m (FP)}$$

$$= -38.284 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG and LCG of Fresh Water

$$KG_{FW} = T + ((H - T) / 2)$$

$$= 5.000 + (9.00 - 5.000) / 2)$$

$$= 7 \text{ m}$$

$$W_{FW} = 16.363953 \text{ ton}$$

$$LCG_{FW} = L - (0.5 \times L_{FW})$$

$$L_{FW} = \text{Panjang tangki fresh water}$$

$$= 4.249 \text{ m}$$

$$LCG_{FW} = 30.000 + (0.5 \times 4.25)$$

$$= 112.1245 \text{ m (FP)}$$

$$= -57.125 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{FW} = 86.19526 \text{ m}^3$$

$$H_{FW} = 2.8$$

$$= 2.80 \text{ m}$$

$$L_{FW} = 4.249$$

$$= 4.249 \text{ m}$$

$$B_{FW} = V / (L \times H)$$

$$= 7.245004 \text{ m}$$

KG and LCG of Profision Store

$$KG_{PR} = KG_P$$

$$= 10.5 \text{ m}$$

$$W_{PR} = 0.554 \text{ ton}$$

$$LCG_{PR} = LCG_P$$

$$= 100.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -45.000 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG and LCG of Fuel Oil

$$KG_{Fuel} = 0.5 \times 1.5$$

$$= 0.5 \times 1.50$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$W_{Fuel} = 24.312001 \text{ ton}$$

$$LCG_{Fuel} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$$

$$L_{Fuel} = \text{Panjang Tangki Fuel}$$

$$= 2.25 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 82.000 \text{ m}$$

$$LCG_{Fuel} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 2.25)$$

$$= 91.125 \text{ m (FP)}$$

$$= -36.125 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{Fuel} = 17.0576 \text{ m}^3$$

$$H_{Fuel} = H_{DB}$$

$$= 1.5 \text{ m}$$

$$L_{Fuel} = 3 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$= 2.25 \text{ m}$$

$$B_{Fuel} = V / (L \times H)$$

$$= 5.054104 \text{ m}$$

KG and LCG of Lubrication Oil

$$KG_{LO} = 0.5 \times H_{lub}$$

$$= 0.5 \times 1.50$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$W_{LO} = 14.8204 \text{ ton}$$

$$LCG_{LO} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$$

$$L_{LO} = \text{Panjang Tangki L.O}$$

$$= 2 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 82.000 \text{ m}$$

$$LCG_{LO} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 2.00)$$

$$= 91.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -36.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{LO} = 24.27894 \text{ m}^3$$

$$H_{LO} = H_{DB}$$

$$= 1.5 \text{ m}$$

$$L_{LO} = 2 \text{ m}$$

$$B_{LO} = V / (L \times H)$$

$$= 8.093 \text{ m}$$

TOTAL KG and LCG of Crew and Consumable

$$KG_{C\&C} = ((KG_{C\&E} \times W_{C\&E}) + (KG_{FW} \times W_{FW}) + (KG_{PR} \times W_{PR}) + (KG_{Fuel} \times W_{Fuel}) \\ + (KG_{DO} \times W_{DO}) + (KG_{LO} \times W_{LO})) / W_{C\&C}$$

$$W_{C\&C} = 59.066 \text{ ton}$$

$$KG_{C\&C} = 3.3512596 \text{ m}$$

$$LCG_{C\&C} = ((LCG_{C\&E} \times W_{C\&E}) + (LCG_{FW} \times W_{FW}) + (LCG_{PR} \times W_{PR}) + (LCG_{Fuel} \times W_{Fuel}) \\ + (LCG_{DO} \times W_{DO}) + (LCG_{LO} \times W_{LO})) / W_{C\&C}$$

$$W_{C\&C} = 59.066 \text{ ton}$$

$$LCG_{C\&C} = 92.340941 \text{ m (FP)}$$

$$= -37.341 \text{ m (} \phi \text{)}$$

VI. Position Fixed Ballast Center of Mass**KG and LCG of Fixed Ballast**

$$KG_{bal} = 4.5 \text{ m}$$

$$W_{bal} = 6598.12$$

$$LCG_{pay} = L_{FC-FP} + L_{rm} \times 0.5$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 8 \text{ m}$$


$$L_{rm} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 82.000 \text{ m}$$

$$LCG_{pay} = 8.0 + 82.0 \times 0.5$$

$$LCG_{pay} = 49.000 \text{ m (FP)}$$

$$6.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember Titik Berat (10mW)	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	

Input Data :					
Lo =	110.00	m	Lrm =	82.00	m
Lwl =	110.00	m	Lkm =	20	m
Ho =	16.00	m			
Bo =	32.00	m			
To =	9.00	m			
Cb =	0.979				

Input Data :					
L _{WW1} =	7.000	m	L _{WW2} =	7.000	m
L _{HE1} =	12.000	m	L _{HE2} =	12.000	m
L _{MW1} =	7.000	m	L _{MW2} =	7.000	m
L _{EV1} =	12.000	m	L _{EV2} =	12.000	m
L _{CW} =	6.000	m			

I. Titik Berat Machinery

Position of Engine Plant Center of Mass
Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

TOTAL KG and LCG of Engine Plant, Heat Exchanger & Turbine Generator

Engine Plant

$h_{db} + 0.35 \cdot (H - h_{db})$ $KG_{EP} = 0.35 \times (D' - H_{DB})$ $D' = \text{Tinggi Kamar Mesin}$ $= 16.00 \text{ m}$ $KG_{EP} = 0.35 \times (16)$ $= 5.60 \text{ m}$ $W_{EP} = 280.448 \text{ ton}$	$LCG_{EP} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$ $L_{ER} = \text{Panjang Kamar Mesin}$ $= 20 \text{ m}$ $L_{FC-FP} = \text{Panjang f.castle dibelakang FP}$ $= 8 \text{ m}$ $L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$ $= 82.000 \text{ m}$ $LCG_{EP} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 20.00)$ $= 100.000 \text{ m (FP)}$ $= -45.000 \text{ m (} \phi \text{)}$
--	---

Heat Exchanger I

$H_{HE1} = 8.00$ $KG_{HE1} = 0.5 \times 8.00$ $= 4.000 \text{ m}$ $W_{HE1} = 1140.000 \text{ ton}$	$L_{HE1} = 31.000$ $L_{HE1} = \text{Panjang kearah FP}$ $= 52.000$ $LCG_{HE1} = 52.00 + (0.5 \times 31.00)$ $= 67.500 \text{ m (FP)}$ $= -12.500 \text{ m (} \phi \text{)}$
--	--

Heat Exchanger II

$H_{HE2} = 8.00$ $KG_{HE2} = 0.5 \times 8.00$ $= 4.000 \text{ m}$ $W_{HE2} = 1140.000 \text{ ton}$	$L_{HE2} = 31.000$ $L_{HE2} = \text{Panjang kearah FP}$ $= 15.000$ $LCG_{HE2} = 15.00 + (0.5 \times 31.00)$ $= 30.500 \text{ m (FP)}$ $= 24.500 \text{ m (} \phi \text{)}$
--	---

$$KG_M = ((KG_{HEP} \times W_{EP}) + (KG_{EV1} \times W_{EV1}) + (KG_{EV2} \times W_{EV2})) / W_M$$

$$W_M = 2560.448 \text{ ton}$$

$$KG_M = ((5.600 \times 280.45) + (4.000 \times 1140.00) + (1140.000 \times 4.00)) / 2560.45$$

$$= 4.175249 \text{ m}$$

$$LCG_M = ((LCG_{EP} \times W_{EP}) + (LCG_{EV1} \times W_{EV1}) + (LCG_{EV2} \times W_{EV2})) / W_M$$

$$W_M = 2560.448 \text{ ton}$$

$$LCG_M = ((100.00 \times 280.45) + (67.50 \times 1140.00) + (30.50 \times 1140.00)) / 2560.45$$

$$= 54.58607 \text{ m (FP)}$$

$$= 0.414 \text{ m (} \phi \text{)}$$

II. Titik Berat Steel Weight

Position of hull Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Hull

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

$$KG_{ST} = 0.01 \times H \times (46.6 + 0.135 \times (0.82 - C_B) \times ((L / D) ^2)) + 0.008 \times H \times ((L / B) - 6.5)$$

$$= 6.892 \text{ m}$$

$$W_{st} = 1446.2304 \text{ ton}$$

$$LCG_{ST} = -0.15 + LCB \quad (\%L)$$

$$LCB = \% LCB = 0.182 \%L$$

$$LCG_{ST} = -0.15 + 0.182$$

$$= 0.032 \%L$$

$$= 0.035 \text{ m (} \phi \text{)}$$

$$= 54.965 \text{ m (FP)}$$

KG and LCG of Superstructure and Deckhouse

Forecastle

$$KG_{FC} = H + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{FC} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{FC} = 16.000 + (0.5 \times 2.50)$$

$$= 17.250 \text{ m}$$

$$W_{FC} = 44.000 \text{ ton}$$

$$LCG_{FC} = L_{FC-FP} - (1/3 \times L_{FC})$$

$$L_{FC} = 3 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = 8 \text{ m}$$

$$LCG_{FC} = 8.00 - (1/3 \times 3.00)$$

$$= 7.000 \text{ m (FP)}$$

$$= 48.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Poop

$$KG_P = H + (0.5 \times H_P)$$

$$H_P = 3 \text{ m}$$

$$KG_P = 16.000 + (0.5 \times 3.00)$$

$$= 17.5 \text{ m}$$

$$W_P = 144.000 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_P)$$

$$L_P = 20 \text{ m}$$

$$LCG_P = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 20.00)$$

$$= 100.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -45.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Deckhouse

LAYER II

$$KG_{DH2} = H + H_P + (0.5 \times H_{DH})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 16.000 + 3.0 + (0.5 \times 2.50)$$

$$= 20.25 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 80.850 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_P)$$

$$L_{DH} = 16.5 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 16.50)$$

$$= 98.250 \text{ m (FP)}$$

$$= -43.250 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LAYER III

$$KG_{DH} = H + H_p + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 16.000 + 3.0 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 22.75 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 53.900 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_p)$$

$$L_{DH} = 11 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 11.00) \\ = 95.500 \text{ m (FP)} \\ = -40.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LAYER IV

$$KG_{DH} = H + H_p + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 16.000 + 3.0 + 2.5 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 25.25 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 44.100 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_p)$$

$$L_{DH} = 9 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 9.00) \\ = 94.500 \text{ m (FP)} \\ = -39.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Whellhouse

$$KG_{WH} = H + H_p + H_{DH} + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{WH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{WH} = 16 + 3.0 + 2.5 + 2.5 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 27.75 \text{ m}$$

$$W_{WH} = 25.200 \text{ ton}$$

$$LCG_{WH} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{WH})$$

$$L_{WH} = 6 \text{ m}$$

$$LCG_{WH} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 6.00) \\ = 93.000 \text{ m (FP)} \\ = -38.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

T/G Room I

$$KG_{TG} = H + (0.5 \times H_p)$$

$$H_{TG} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{TG} = 16.000 + (0.5 \times 2.50) \\ = 17.25 \text{ m}$$

$$W_{TG} = 24.500 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC} + L_{ww2} + L_{HE2} + L_{TG2} + L_{EV2} + L_{CW} + L_{EV1} + (0.5 \times L_{TG1})$$

$$L_{T/G1} = 7 \text{ m}$$

$$LCG_{TG} = 8 + 7 + 12 + 7 + 12 + 6 + 12 + (0.5 \times 7) \\ = 67.500 \text{ m (FP)} \\ = -12.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

T/G Room II

$$KG_{TG} = H + (0.5 \times H_p)$$

$$H_{TG} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{TG} = 16.000 + (0.5 \times 2.50) \\ = 17.25 \text{ m}$$

$$W_{TG} = 24.500 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC} + L_{ww2} + L_{HE2} + (0.5 \times L_{TG2})$$

$$L_{T/G1} = 7 \text{ m}$$

$$LCG_{TG} = 8 + 7 + 12 + (0.5 \times 7) \\ = 30.500 \text{ m (FP)} \\ = 24.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Superstructure and Deck House

$$KG_{S\&D} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{DH2} \times W_{DH2}) + (KG_{DH3} \times W_{DH3}) + (KG_{DH4} \times W_{DH4}) + (KG_{WH} \times W_{WH}) + (KG_{TG1} \times W_{TG1}) + (KG_{TG2} \times W_{TG2})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 441.050 \text{ ton}$$

$$KG_{S\&D} = ((17.250 \times 44.00) + (17.500 \times 144.00) + (20.250 \times 80.85) + (22.750 \times 53.90) + (25.250 \times 44.10) + (27.750 \times 25.20)) / 441.05 \\ = 19.95355 \text{ m}$$

LCG for Superstructure and Deck House

$$LCG_{S\&D} = ((LCG_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{DH2} \times W_{DH2}) + (LCG_{DH3} \times W_{DH3}) + (LCG_{DH4} \times W_{DH4}) + (LCG_{WH} \times W_{WH}) + (LCG_{TG1} \times W_{TG1}) + (LCG_{TG2} \times W_{TG2})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 441.050 \text{ ton}$$

$$LCG_{S\&D} = ((7.000 \times 44.00) + (100.000 \times 144.00) + (98.250 \times 80.85) + (95.500 \times 53.90) + (94.500 \times 44.10) + (93.000 \times 25.20)) / 441.05 \\ = 83.23549 \text{ m (FP)} \\ = -28.235 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LCG of Correction for Steel Weight

Bulkhead I

$$KG_{BC} = H_{DB} + (0.5 \times (H - H_{DB}))$$

$$KG_{BC} = 0.5 \times (16.000)$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$W_{BC} = 25.748 \text{ ton}$$

$$LCG_{BC} = L_{FC-FP} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang sebelum bulkhead ke FP}$$

$$= 15.000 \text{ m}$$

$$LB_H = \text{Panjang Bulkhead}$$

$$= 31.000 \text{ m}$$

$$LCG_{BC} = 15.00 + (0.5 \times 31.00)$$

$$= 30.500 \text{ m (FP)}$$

$$= 24.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Bulkhead II

$$KG_{BC} = H_{DB} + (0.5 \times (H - H_{DB}))$$

$$KG_{BC} = 0.5 \times (6.000)$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$W_{BC} = 25.748 \text{ ton}$$

$$LCG_{BC} = L_{FC-FP} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 52.000 \text{ m}$$

$$LB_H = \text{Panjang Bulkhead}$$

$$= 31.000 \text{ m}$$

$$LCG_{BC} = 52.00 + (0.5 \times 31.00)$$

$$= 67.500 \text{ m (FP)}$$

$$= -12.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Correction Weight

$$KG_C = ((KG_{BC} \times W_{BC}) / W_C)$$

$$W_C = 51.496 \text{ ton}$$

$$KG_C = (8.000 \times 25.75) + (8.000 \times 25.75) / 51.50$$

$$= 8 \text{ m}$$

LCG for Correction Weight

$$LCG_C = ((LCG_{BC} \times W_{BC}) + (LCG_{BC} \times W_{BC})) / W_C$$

$$W_C = 51.496 \text{ ton}$$

$$LCG_C = ((30.500 \times 25.75) + (67.500 \times 25.75)) / 51.50$$

$$= 49 \text{ m (FP)}$$

$$= 6.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

TOTAL KG and LCG of Steel Weight

$$KG_S = ((KG_{Hrc} \times W_{Hrc}) + (KG_{S\&D} \times W_{S\&D}) + (KG_C \times W_C)) / W_{rc}$$

$$W_{ST} = 1938.776 \text{ ton}$$

$$KG_S = ((6.892 \times 1446.23) + (19.954 \times 441.05) + (8.000 \times 51.50)) / 1938.78$$

$$= 9.892673 \text{ m}$$

$$LCG_{ST} = ((LCG_{HS} \times W_{HS}) + (LCG_{S\&D} \times W_{S\&D}) + (LCG_C \times W_C)) / W_{rc}$$

$$W_{ST} = 1938.776 \text{ ton}$$

$$LCG_{ST} = ((54.97 \times 1446.23) + (83.24 \times 441.05) + (49.00 \times 51.50)) / 1938.78$$

$$= 61.23778 \text{ m (FP)}$$

$$= -6.238 \text{ m (} \phi \text{)}$$

III. Position of Equipment and Outfitting Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Group III (Living Quarter)

Forecastle

$W_{FC} = 59.840 \text{ ton}$	$LCG_{FC} = 7.000 \text{ m (FP)}$
$KG_{FC} = 17.250 \text{ m}$	$= 48.000 \text{ m (} \phi \text{)}$

Poop

$W_P = 108.800 \text{ ton}$	$LCG_P = 100.000 \text{ m (FP)}$
$KG_P = 17.500 \text{ m}$	$= -45.000 \text{ m (} \phi \text{)}$

Layer II

$W_{DH} = 78.540 \text{ ton}$	$LCG_{DH} = 98.250 \text{ m (FP)}$
$KG_{DH} = 20.250 \text{ m}$	$= -43.250 \text{ m (} \phi \text{)}$

Layer III

$W_{DH} = 52.360 \text{ ton}$	$LCG_{DH} = 95.500 \text{ m (FP)}$
$KG_{DH} = 22.750 \text{ m}$	$= -40.500 \text{ m (} \phi \text{)}$

Layer IV

$W_{DH} = 42.840 \text{ ton}$	$LCG_{DH} = 94.500 \text{ m (FP)}$
$KG_{DH} = 25.250 \text{ m}$	$= -39.500 \text{ m (} \phi \text{)}$

Wheelhouse

$W_{WH} = 24.480 \text{ ton}$	$LCG_{WH} = 93.000 \text{ m (FP)}$
$KG_{WH} = 27.750 \text{ m}$	$= -38.000 \text{ m (} \phi \text{)}$

Main Deck

$W_{MD} = 429.760 \text{ ton}$	$LCG_{MD} = 55.000 \text{ m (FP)}$
$KG_{MD} = 16.000 \text{ m}$	$= 0.000 \text{ m (} \phi \text{)}$

KG for Group III

$$KG_{GIII} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{DH2} \times W_{DH2}) + (KG_{DH3} \times W_{DH3}) + (KG_{DH4} \times W_{DH4}) + (KG_{WH} \times W_{WH}) + (KG_{TG} \times W_{TG}) + (KG_{TG} \times W_{TG})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 796.620 \text{ ton}$$

$$KG_{GIII} = ((59.840 \times 17.25) + (108.800 \times 17.50) + (78.540 \times 20.25) + (52.360 \times 22.75) + (42.840 \times 25.25) + (24.480 \times 27.75)) / 796.62$$

$$= 18.01995 \text{ m}$$

LCG for Group III

$$LCG_{GIII} = ((LCG_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{DH2} \times W_{DH2}) + (LCG_{DH3} \times W_{DH3}) + (LCG_{DH4} \times W_{DH4}) + (LCG_{WH} \times W_{WH})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 796.620 \text{ ton}$$

$$LCG_{GIII} = ((7.000 \times 59.84) + (100.000 \times 108.80) + (98.250 \times 78.54) + (95.500 \times 52.36) + (94.500 \times 42.84) + (93.000 \times 24.48)) / 796.62$$

$$= 67.75832 \text{ m (FP)}$$

$$= -12.758 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG and LCG of Group IV (Miscellaneous)

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 173

KG for Group IV

$$\begin{aligned}KG_{GIV} &= 1.00 \sim 1.05 H \\&= 1.05 \times 16.000 \\&= 16.80 \text{ m} \\W_{IV} &= 77.071 \text{ ton}\end{aligned}$$

LCG for Group IV (asumsi tersebar merata)

$$\begin{aligned}LCG_{GIV} &= 0.5 \times L \\&= 0.5 \times 110.00 \text{ ton} \\&= 55 \text{ m (FP)} \\&= 0.000 \text{ m (}\phi\text{)}\end{aligned}$$

TOTAL KG and LCG of Equipment and Outfitting

$$\begin{aligned}KG_{E\&O} &= ((KG_{GIII} \times W_{GIII}) + (KG_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O} \\W_{E\&O} &= 873.691 \text{ ton} \\KG_{E\&O} &= ((18.020 \times 796.62) + (16.800 \times 77.07)) / 873.69 \\&= 17.912337 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}LCG_{E\&O} &= ((LCG_{GIII} \times W_{GIII}) + (LC_{GIV} \times W_{GIV})) / W_{E\&O} \\W_{E\&O} &= 873.691 \text{ ton} \\LCG_{E\&O} &= ((67.758 \times 796.62) + (55.000 \times 796.62)) / 873.69 \\&= 66.632866 \text{ m (FP)} \\&= -11.633 \text{ m (}\phi\text{)}\end{aligned}$$

IV. Payload

Position of Payload Center of Mass

KG and LCG of Payload

$$KG_{\text{pay}} = (H - H_{\text{db}}) \times 0.5 + H_{\text{db}}$$

$$KG_{\text{pay}} = ((9.0 \times 0.5) \times 0.0$$

$$KG_{\text{pay}} = 4.5 \text{ m}$$

$$W_{\text{pay}} = 6408$$

$$LCG_{\text{pay}} = L_{\text{FC-FP}} + L_{\text{rm}} \times 0.5$$

$$L_{\text{FC-FP}} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$L_{\text{rm}} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 82.000 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{pay}} = 8.0 + 82.0 \times 0.5$$

$$LCG_{\text{pay}} = 49.000 \text{ m (FP)}$$

$$6.000 \text{ m (}\phi\text{)}$$

V. Position Crew and Consumable Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Crew

Poop

$$\text{Crew} = 10$$

$$\text{Total Crew} = 25$$

$$W_{\text{P}} = 1.496 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{P}} = 17.500 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{P}} = 100.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -45.000 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Layer II

$$\text{Crew} = 7$$

$$\text{Total Crew} = 25$$

$$W_{\text{DH}} = 1.047 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{DH}} = 20.250 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{DH}} = 98.250 \text{ m (FP)}$$

$$= -43.250 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Layer III

$$\text{Crew} = 5$$

$$\text{Total Crew} = 25$$

$$W_{\text{DH}} = 0.748 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{DH}} = 22.750 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{DH}} = 95.500 \text{ m (FP)}$$

$$= -40.500 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Layer IV

$$\text{Crew} = 3$$

$$\text{Total Crew} = 25$$

$$W_{\text{DH}} = 0.449 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{DH}} = 25.250 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{DH}} = 94.500 \text{ m (FP)}$$

$$= -39.500 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG for Crew

$$KG_{\text{C\&E}} = ((KG_{\text{P}} \times W_{\text{P}}) + (KG_{\text{DHii}} \times W_{\text{DHii}}) + (KG_{\text{DHiii}} \times W_{\text{DHiii}}) + (KG_{\text{DHiv}} \times W_{\text{DHiv}})) / W_{\text{C\&E}}$$

$$W_{\text{C\&E}} = 4.250 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{C\&E}} = ((1.496 \times 17.50) + (1.047 \times 20.25) + (0.748 \times 22.75) + (0.449 \times 25.25)) / 4.25$$

$$= 17.82 \text{ m}$$

LCG for Crew

$$LCG_{C\&E} = ((LCG_P \times W_P) + (LCG_{DHii} \times W_{DHii}) + (LCGDH_{iii} \times WDH_{iii}) + (LCGDH_{iv} \times WDH_{iv})) / W_{C\&E}$$

$$W_{C\&E} = 4.250 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{C\&E} = ((100.000 \times 1.50) + (98.250 \times 1.05) + (95.500 \times 0.75) + (94.500 \times 0.45)) / 4.25$$

$$= 86.196 \text{ m (FP)}$$

$$= -31.196 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG and LCG of Fresh Water

$$KG_{FW} = T + ((H - T) / 2)$$

$$= 9.000 + (16.00 - 9.000) / 2)$$

$$= 12.5 \text{ m}$$

$$W_{FW} = 30.337568 \text{ ton}$$

$$LCG_{FW} = L - (0.5 \times L_{FW})$$

$$L_{FW} = \text{Panjang tangki fresh water}$$

$$= 4.249 \text{ m}$$

$$LCG_{FW} = 32.000 + (0.5 \times 4.25)$$

$$= 112.1245 \text{ m (FP)}$$

$$= -57.125 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{FW} = 86.19526 \text{ m}^3$$

$$H_{FW} = 2.8$$

$$= 2.80 \text{ m}$$

$$L_{FW} = 4.249$$

$$= 4.249 \text{ m}$$

$$B_{FW} = V / (L \times H)$$

$$= 7.245004 \text{ m}$$

KG and LCG of Profision Store

$$KG_{PR} = KG_P$$

$$= 17.5 \text{ m}$$

$$W_{PR} = 0.629 \text{ ton}$$

$$LCG_{PR} = LCG_P$$

$$= 100.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -45.000 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG and LCG of Fuel Oil

$$KG_{Fuel} = 0.5 \times 1.5$$

$$= 0.5 \times 1.50$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$W_{Fuel} = 48.624002 \text{ ton}$$

$$LCG_{Fuel} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$$

$$L_{Fuel} = \text{Panjang Tangki Fuel}$$

$$= 2.25 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 82.000 \text{ m}$$

$$LCG_{Fuel} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 2.25)$$

$$= 91.125 \text{ m (FP)}$$

$$= -36.125 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{Fuel} = 17.0576 \text{ m}^3$$

$$H_{Fuel} = H_{DB}$$

$$= 1.5 \text{ m}$$

$$L_{Fuel} = 3 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$= 2.25 \text{ m}$$

$$B_{Fuel} = V / (L \times H)$$

$$= 5.054104 \text{ m}$$

KG and LCG of Lubrication Oil

$$KG_{LO} = 0.5 \times H_{lub}$$

$$= 0.5 \times 1.50$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$W_{LO} = 29.6409 \text{ ton}$$

$$LCG_{LO} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$$

$$L_{LO} = \text{Panjang Tangki L.O}$$

$$= 2 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 8 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 82.000 \text{ m}$$

$$LCG_{LO} = 8.00 + 82.00 + (0.5 \times 2.00)$$

$$= 91.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -36.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{LO} = 24.27894 \text{ m}^3$$

$$H_{LO} = H_{DB}$$

$$= 1.5 \text{ m}$$

$$L_{LO} = 2 \text{ m}$$

$$B_{LO} = V / (L \times H)$$

$$= 8.093 \text{ m}$$

TOTAL KG and LCG of Crew and Consumable

$$KG_{C\&C} = ((KG_{C\&E} \times W_{C\&E}) + (KG_{FW} \times W_{FW}) + (KG_{PR} \times W_{PR}) + (KG_{Fuel} \times W_{Fuel}) + (KG_{DO} \times W_{DO}) + (KG_{LO} \times W_{LO})) / W_{C\&C}$$

$$W_{C\&C} = 112.342 \text{ ton}$$

$$KG_{C\&C} = 4.6701979 \text{ m}$$

$$LCG_{C\&C} = ((LCG_{C\&E} \times W_{C\&E}) + (LCG_{FW} \times W_{FW}) + (LCG_{PR} \times W_{PR}) + (LCG_{Fuel} \times W_{Fuel}) + (LCG_{DO} \times W_{DO}) + (LCG_{LO} \times W_{LO})) / W_{C\&C}$$

$$W_{C\&C} = 112.342 \text{ ton}$$

$$LCG_{C\&C} = 94.289119 \text{ m (FP)}$$

$$= -39.289 \text{ m (} \phi \text{)}$$

VI. Position Fixed Ballast Center of Mass**KG and LCG of Fixed Ballast**

$$KG_{bal} = 8 \text{ m}$$

$$W_{bal} = 17711.71$$

$$LCG_{pay} = L_{FC-FP} + L_{tm} \times 0.5$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 8 \text{ m}$$


$$L_{tm} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 82.000 \text{ m}$$

$$LCG_{pay} = 8.0 + 82.0 \times 0.5$$

$$LCG_{pay} = 49.000 \text{ m (FP)}$$

$$6.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan																																				
		NRP :	4316203003																																				
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia																																					
Titik Berat (50mW)																																							
2.41E+08																																							
Input Data : <table border="1"> <tr> <td>Lo =</td> <td>200.00</td> <td>m</td> <td>Lrm =</td> <td>170.00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Lwl =</td> <td>200.00</td> <td>m</td> <td>Lkm =</td> <td>20</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Ho =</td> <td>20.00</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bo =</td> <td>39.00</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>To =</td> <td>16.00</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cb =</td> <td>0.980</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Lo =	200.00	m	Lrm =	170.00	m	Lwl =	200.00	m	Lkm =	20	m	Ho =	20.00	m				Bo =	39.00	m				To =	16.00	m				Cb =	0.980				
Lo =	200.00	m	Lrm =	170.00	m																																		
Lwl =	200.00	m	Lkm =	20	m																																		
Ho =	20.00	m																																					
Bo =	39.00	m																																					
To =	16.00	m																																					
Cb =	0.980																																						
Input Data : <table border="1"> <tr> <td>L.WW1 =</td> <td>14.000</td> <td>m</td> <td>L.WW2 =</td> <td>14.000</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>L.HE1 =</td> <td>28.000</td> <td>m</td> <td>L.HE2 =</td> <td>28.000</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>L.MW1 =</td> <td>10.000</td> <td>m</td> <td>L.MW2 =</td> <td>10.000</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>L.EV1 =</td> <td>28.000</td> <td>m</td> <td>L.EV2 =</td> <td>28.000</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>L.CW =</td> <td>10.000</td> <td>m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				L.WW1 =	14.000	m	L.WW2 =	14.000	m	L.HE1 =	28.000	m	L.HE2 =	28.000	m	L.MW1 =	10.000	m	L.MW2 =	10.000	m	L.EV1 =	28.000	m	L.EV2 =	28.000	m	L.CW =	10.000	m									
L.WW1 =	14.000	m	L.WW2 =	14.000	m																																		
L.HE1 =	28.000	m	L.HE2 =	28.000	m																																		
L.MW1 =	10.000	m	L.MW2 =	10.000	m																																		
L.EV1 =	28.000	m	L.EV2 =	28.000	m																																		
L.CW =	10.000	m																																					
<u>I. Titik Berat Machinery</u>																																							
Position of Engine Plant Center of Mass <i>Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25</i> TOTAL KG and LCG of Engine Plant, Heat Exchanger & Turbine Generator																																							
Engine Plant <table> <tr> <td> $h_{db} + 0.35 \cdot (H - h_{db})$ $KG_{EP} = 0.35 \times (D' - H_{DB})$ $D' = \text{Tinggi Kamar Mesin}$ $= 20.00 \text{ m}$ $KG_{EP} = 0.350 \times (20.00)$ $= 7.00 \text{ m}$ $W_{EP} = 1411.2 \text{ ton}$ </td> <td> $LCG_{EP} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$ $L_{ER} = \text{Panjang Kamar Mesin}$ $= 20 \text{ m}$ $L_{FC-FP} = \text{Panjang f.castle dibelakang FP}$ $= 10 \text{ m}$ $L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$ $= 170.000 \text{ m}$ $LCG_{EP} = 10.00 + 170.00 + (0.5 \times 20.00)$ $= 190.000 \text{ m (FP)}$ $= -90.000 \text{ m (} \phi \text{)}$ </td> </tr> </table>				$h_{db} + 0.35 \cdot (H - h_{db})$ $KG_{EP} = 0.35 \times (D' - H_{DB})$ $D' = \text{Tinggi Kamar Mesin}$ $= 20.00 \text{ m}$ $KG_{EP} = 0.350 \times (20.00)$ $= 7.00 \text{ m}$ $W_{EP} = 1411.2 \text{ ton}$	$LCG_{EP} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$ $L_{ER} = \text{Panjang Kamar Mesin}$ $= 20 \text{ m}$ $L_{FC-FP} = \text{Panjang f.castle dibelakang FP}$ $= 10 \text{ m}$ $L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$ $= 170.000 \text{ m}$ $LCG_{EP} = 10.00 + 170.00 + (0.5 \times 20.00)$ $= 190.000 \text{ m (FP)}$ $= -90.000 \text{ m (} \phi \text{)}$																																		
$h_{db} + 0.35 \cdot (H - h_{db})$ $KG_{EP} = 0.35 \times (D' - H_{DB})$ $D' = \text{Tinggi Kamar Mesin}$ $= 20.00 \text{ m}$ $KG_{EP} = 0.350 \times (20.00)$ $= 7.00 \text{ m}$ $W_{EP} = 1411.2 \text{ ton}$	$LCG_{EP} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$ $L_{ER} = \text{Panjang Kamar Mesin}$ $= 20 \text{ m}$ $L_{FC-FP} = \text{Panjang f.castle dibelakang FP}$ $= 10 \text{ m}$ $L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$ $= 170.000 \text{ m}$ $LCG_{EP} = 10.00 + 170.00 + (0.5 \times 20.00)$ $= 190.000 \text{ m (FP)}$ $= -90.000 \text{ m (} \phi \text{)}$																																						
Heat Exchanger I <table> <tr> <td> $H_{HE1} = 12.00$ $KG_{HE1} = 0.5 \times 12.00$ $= 6.000 \text{ m}$ $W_{HE1} = 4620.000 \text{ ton}$ </td> <td> $L_{HE1} = 66.000$ $L_{HE1} = \text{Panjang kearah FP}$ $= 100.000$ $LCG_{HE1} = 100.00 + (0.5 \times 66.00)$ $= 133.000 \text{ m (FP)}$ $= -33.000 \text{ m (} \phi \text{)}$ </td> </tr> </table>				$H_{HE1} = 12.00$ $KG_{HE1} = 0.5 \times 12.00$ $= 6.000 \text{ m}$ $W_{HE1} = 4620.000 \text{ ton}$	$L_{HE1} = 66.000$ $L_{HE1} = \text{Panjang kearah FP}$ $= 100.000$ $LCG_{HE1} = 100.00 + (0.5 \times 66.00)$ $= 133.000 \text{ m (FP)}$ $= -33.000 \text{ m (} \phi \text{)}$																																		
$H_{HE1} = 12.00$ $KG_{HE1} = 0.5 \times 12.00$ $= 6.000 \text{ m}$ $W_{HE1} = 4620.000 \text{ ton}$	$L_{HE1} = 66.000$ $L_{HE1} = \text{Panjang kearah FP}$ $= 100.000$ $LCG_{HE1} = 100.00 + (0.5 \times 66.00)$ $= 133.000 \text{ m (FP)}$ $= -33.000 \text{ m (} \phi \text{)}$																																						
Heat Exchanger II <table> <tr> <td> $H_{HE2} = 12.00$ $KG_{HE2} = 0.5 \times 12.00$ $= 6.000 \text{ m}$ $W_{HE2} = 4620.000 \text{ ton}$ </td> <td> $L_{HE2} = 66.000$ $L_{HE2} = \text{Panjang kearah FP}$ $= 24.000$ $LCG_{HE2} = 24.00 + (0.5 \times 66.00)$ $= 57.000 \text{ m (FP)}$ $= 43.000 \text{ m (} \phi \text{)}$ </td> </tr> </table>				$H_{HE2} = 12.00$ $KG_{HE2} = 0.5 \times 12.00$ $= 6.000 \text{ m}$ $W_{HE2} = 4620.000 \text{ ton}$	$L_{HE2} = 66.000$ $L_{HE2} = \text{Panjang kearah FP}$ $= 24.000$ $LCG_{HE2} = 24.00 + (0.5 \times 66.00)$ $= 57.000 \text{ m (FP)}$ $= 43.000 \text{ m (} \phi \text{)}$																																		
$H_{HE2} = 12.00$ $KG_{HE2} = 0.5 \times 12.00$ $= 6.000 \text{ m}$ $W_{HE2} = 4620.000 \text{ ton}$	$L_{HE2} = 66.000$ $L_{HE2} = \text{Panjang kearah FP}$ $= 24.000$ $LCG_{HE2} = 24.00 + (0.5 \times 66.00)$ $= 57.000 \text{ m (FP)}$ $= 43.000 \text{ m (} \phi \text{)}$																																						

$$KG_M = ((KG_{HEP} \times W_{EP}) + (KG_{EV1} \times W_{EV1}) + (KG_{EV2} \times W_{EV2})) / W_M$$

$$W_M = 10651.2 \text{ ton}$$

$$KG_M = ((7.000 \times 1411.20) + (6.000 \times 4620.00) + (4620.000 \times 6.00)) / 10651.20$$

$$= 6.132492 \text{ m}$$

$$LCG_M = ((LCG_{EP} \times W_{EP}) + (LCG_{EV1} \times W_{EV1}) + (LCG_{EV2} \times W_{EV2})) / W_M$$

$$W_M = 10651.2 \text{ ton}$$

$$LCG_M = ((190.00 \times 1411.20) + (133.00 \times 4620.00) + (57.00 \times 4620.00)) / 10651.20$$

$$= 107.5868 \text{ m (FP)}$$

$$= -7.587 \text{ m (} \phi \text{)}$$

II. Titik Berat Steel Weight

Position of hull Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Hull

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

$$KG_{ST} = 0.01 \times H \times (46.6 + 0.135 \times (0.82 - C_B) \times ((L / D) ^2)) + 0.008 \times H \times ((L / B) - 6.5)$$

$$= 8.642 \text{ m}$$

$$W_{st} = 3582.0833 \text{ ton}$$

$$LCG_{ST} = -0.15 + LCB \quad (\%L)$$

$$LCB = \% LCB = 0.049 \%L$$

$$LCG_{ST} = -0.15 + 0.049$$

$$= -0.101 \%L$$

$$= -0.202 \text{ m (} \phi \text{)}$$

$$= 100.202 \text{ m (FP)}$$

KG and LCG of Superstructure and Deckhouse

Forecastle

$$KG_{FC} = H + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{FC} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{FC} = 20.000 + (0.5 \times 2.50)$$

$$= 21.250 \text{ m}$$

$$W_{FC} = 53.625 \text{ ton}$$

$$LCG_{FC} = L_{FC-FP} - (1/3 \times L_{FC})$$

$$L_{FC} = 3 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = 8 \text{ m}$$

$$LCG_{FC} = 8.00 - (1/3 \times 3.00)$$

$$= 7.000 \text{ m (FP)}$$

$$= 93.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Poop

$$KG_P = H + (0.5 \times H_P)$$

$$H_P = 3 \text{ m}$$

$$KG_P = 20.000 + (0.5 \times 3.00)$$

$$= 21.5 \text{ m}$$

$$W_P = 175.500 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_P)$$

$$L_P = 20 \text{ m}$$

$$LCG_P = 8.00 + 170.00 + (0.5 \times 20.00)$$

$$= 188.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -88.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Deckhouse

LAYER II

$$KG_{DH2} = H + H_P + (0.5 \times H_{DH})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 20.000 + 3.0 + (0.5 \times 2.50)$$

$$= 24.25 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 101.063 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_P)$$

$$L_{DH} = 16.5 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 170.00 + (0.5 \times 16.50)$$

$$= 186.250 \text{ m (FP)}$$

$$= -86.250 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LAYER III

$$KG_{DH} = H + H_p + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 20.000 + 3.0 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 26.75 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 67.375 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_p)$$

$$L_{DH} = 11 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 170.00 + (0.5 \times 11.00) \\ = 183.500 \text{ m (FP)} \\ = -83.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LAYER IV

$$KG_{DH} = H + H_p + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{DH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{DH} = 20.000 + 3.0 + 2.5 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 29.25 \text{ m}$$

$$W_{DH} = 55.125 \text{ ton}$$

$$LCG_{DH} = L_{FC-FP} + L_{RM} + (0.5 \times L_p)$$

$$L_{DH} = 9 \text{ m}$$

$$LCG_{DH} = 8.00 + 170.00 + (0.5 \times 9.00) \\ = 182.500 \text{ m (FP)} \\ = -82.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Whellhouse

$$KG_{WH} = H + H_p + H_{DH} + (0.5 \times H_{FC})$$

$$H_{WH} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{WH} = 20 + 3.0 + 2.5 + 2.5 + 2.5 + (0.5 \times 2.50) \\ = 31.75 \text{ m}$$

$$W_{WH} = 32.550 \text{ ton}$$

$$LCG_{WH} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{WH})$$

$$L_{WH} = 6 \text{ m}$$

$$LCG_{WH} = 8.00 + 170.00 + (0.5 \times 6.00) \\ = 181.000 \text{ m (FP)} \\ = -81.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

T/G Room I

$$KG_{TG} = H + (0.5 \times H_p)$$

$$H_{TG} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{TG} = 20.000 + (0.5 \times 2.50) \\ = 21.25 \text{ m}$$

$$W_{TG} = 46.375 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC} + L_{ww2} + L_{HE2} + L_{TG2} + L_{EV2} + L_{CW} + L_{EV1} + (0.5 \times L_{TG1})$$

$$L_{T/G1} = 7 \text{ m}$$

$$LCG_{TG} = 8 + 14 + 28 + 10 + 28 + 10 + 28 + (0.5 \times 7) \\ = 129.500 \text{ m (FP)} \\ = -29.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

T/G Room II

$$KG_{TG} = H + (0.5 \times H_p)$$

$$H_{TG} = 2.5 \text{ m}$$

$$KG_{TG} = 20.000 + (0.5 \times 2.50) \\ = 21.25 \text{ m}$$

$$W_{TG} = 46.375 \text{ ton}$$

$$LCG_P = L_{FC} + L_{ww2} + L_{HE2} + (0.5 \times L_{TG2})$$

$$L_{T/G1} = 7 \text{ m}$$

$$LCG_{TG} = 8 + 14 + 28 + (0.5 \times 7) \\ = 53.500 \text{ m (FP)} \\ = 46.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Superstructure and Deck House

$$KG_{S\&D} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{DH2} \times W_{DH2}) + (KG_{DH3} \times W_{DH3}) + (KG_{DH4} \times W_{DH4}) + (KG_{WH} \times W_{WH}) + (KG_{TG1} \times W_{TG1}) + (KG_{TG2} \times W_{TG2})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 577.988 \text{ ton}$$

$$KG_{S\&D} = ((21.250 \times 53.63) + (21.500 \times 175.50) + (24.250 \times 101.06) + (26.750 \times 67.38) + (29.250 \times 55.13) + (31.750 \times 32.55)) / 577.99 \\ = 23.8459 \text{ m}$$

LCG for Superstructure and Deck House

$$LCG_{S\&D} = ((LCG_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{DH2} \times W_{DH2}) + (LCG_{DH3} \times W_{DH3}) + (LCG_{DH4} \times W_{DH4}) + (LCG_{WH} \times W_{WH}) + (LCG_{TG1} \times W_{TG1}) + (LCG_{TG2} \times W_{TG2})) / W_{S\&D}$$

$$W_{S\&D} = 577.988 \text{ ton}$$

$$LCG_{S\&D} = ((7.000 \times 53.63) + (188.000 \times 175.50) + (186.250 \times 101.06) + (183.500 \times 67.38) + (182.500 \times 55.13) + (181.000 \times 32.55)) / 577.99$$

$$= 153.9723 \text{ m (FP)}$$

$$= -53.972 \text{ m (} \phi \text{)}$$

LCG of Correction for Steel Weight

Bulkhead I

$$KG_{BC} = H_{DB} + (0.5 \times (H - H_{DB}))$$

$$KG_{BC} = 0.5 \times (20.000)$$

$$= 10 \text{ m}$$

$$W_{BC} = 133.450 \text{ ton}$$

$$LCG_{BC} = L_{FC-FP} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang sebelum bulkhead ke FP}$$

$$= 22.000 \text{ m}$$

$$LB_H = \text{Panjang Bulkhead}$$

$$= 66.000 \text{ m}$$

$$LCG_{BC} = 22.00 + (0.5 \times 66.00)$$

$$= 55.000 \text{ m (FP)}$$

$$= 45.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Bulkhead II

$$KG_{BC} = H_{DB} + (0.5 \times (H - H_{DB}))$$

$$KG_{BC} = 0.5 \times (10.000)$$

$$= 10 \text{ m}$$

$$W_{BC} = 133.450 \text{ ton}$$

$$LCG_{BC} = L_{FC-FP} + (0.5 \times L_{CH})$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 100.000 \text{ m}$$

$$LB_H = \text{Panjang Bulkhead}$$

$$= 66.000 \text{ m}$$

$$LCG_{BC} = 100.00 + (0.5 \times 66.00)$$

$$= 133.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -33.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Correction Weight

$$KG_C = ((KG_{BC} \times W_{BC}) / W_C)$$

$$W_C = 266.900 \text{ ton}$$

$$KG_C = (10.000 \times 133.45) + (10.000 \times 133.45) / 266.90$$

$$= 10 \text{ m}$$

LCG for Correction Weight

$$LCG_C = ((LCG_{BC} \times W_{BC}) + (LCG_{BC} \times W_{BC})) / W_C$$

$$W_C = 266.900 \text{ ton}$$

$$LCG_C = ((55.000 \times 133.45) + (133.000 \times 133.45)) / 266.90$$

$$= 94 \text{ m (FP)}$$

$$= 6.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

TOTAL KG and LCG of Steel Weight

$$KG_S = ((KG_{Hrc} \times W_{Hrc}) + (KG_{S\&D} \times W_{S\&D}) + (KG_C \times W_C)) / W_{rc}$$

$$W_{ST} = 4426.971 \text{ ton}$$

$$KG_S = ((8.642 \times 3582.08) + (23.846 \times 577.99) + (10.000 \times 266.90)) / 4426.97$$

$$= 10.70851 \text{ m}$$

$$LCG_{ST} = ((LCG_{HS} \times W_{HS}) + (LCG_{S\&D} \times W_{S\&D}) + (LCG_C \times W_C)) / W_{rc}$$

$$W_{ST} = 4426.971 \text{ ton}$$

$$LCG_{ST} = ((100.20 \times 3582.08) + (153.97 \times 577.99) + (94.00 \times 266.90)) / 4426.97$$

$$= 106.8484 \text{ m (FP)}$$

$$= -6.848 \text{ m (} \phi \text{)}$$

III. Position of Equipment and Outfitting Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Group III (Living Quarter)

Forecastle

$$\begin{array}{l|l} W_{FC} = 72.930 \text{ ton} & LCG_{FC} = 7.000 \text{ m (FP)} \\ KG_{FC} = 21.250 \text{ m} & = 93.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Poop

$$\begin{array}{l|l} W_P = 132.600 \text{ ton} & LCG_P = 188.000 \text{ m (FP)} \\ KG_P = 21.500 \text{ m} & = -88.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Layer II

$$\begin{array}{l|l} W_{DH} = 98.175 \text{ ton} & LCG_{DH} = 186.250 \text{ m (FP)} \\ KG_{DH} = 24.250 \text{ m} & = -86.250 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Layer III

$$\begin{array}{l|l} W_{DH} = 65.450 \text{ ton} & LCG_{DH} = 183.500 \text{ m (FP)} \\ KG_{DH} = 26.750 \text{ m} & = -83.500 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Layer IV

$$\begin{array}{l|l} W_{DH} = 53.550 \text{ ton} & LCG_{DH} = 182.500 \text{ m (FP)} \\ KG_{DH} = 29.250 \text{ m} & = -82.500 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Wheelhouse

$$\begin{array}{l|l} W_{WH} = 31.620 \text{ ton} & LCG_{WH} = 181.000 \text{ m (FP)} \\ KG_{WH} = 31.750 \text{ m} & = -81.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

Main Deck

$$\begin{array}{l|l} W_{MD} = 1120.470 \text{ ton} & LCG_{MD} = 100.000 \text{ m (FP)} \\ KG_{MD} = 20.000 \text{ m} & = 0.000 \text{ m (} \phi \text{)} \end{array}$$

KG for Group III

$$KG_{GIII} = ((KG_{FC} \times W_{FC}) + (KG_P \times W_P) + (KG_{DH2} \times W_{DH2}) + (KG_{DH3} \times W_{DH3}) + (KG_{DH4} \times W_{DH4}) + (KG_{WH} \times W_{WH}) + (KG_{TG} \times W_{TG}) + (KG_{TG} \times W_{TG})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 1574.795 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} KG_{GIII} &= ((72.930 \times 21.25) + (132.600 \times 21.50) + (98.175 \times 24.25) + (65.450 \times 26.75) + (53.550 \times 29.25) + (31.620 \times 31.75)) / 1574.80 \\ &= 21.28015 \text{ m} \end{aligned}$$

LCG for Group III

$$LCG_{GIII} = ((LCG_{FC} \times W_{FC}) + (LCG_P \times W_P) + (LCG_{DH2} \times W_{DH2}) + (LCG_{DH3} \times W_{DH3}) + (LCG_{DH4} \times W_{DH4}) + (LCG_{WH} \times W_{WH})) / W_{S\&D}$$

$$W_{GIII} = 1574.795 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} LCG_{GIII} &= ((7.000 \times 72.93) + (188.000 \times 132.60) + (186.250 \times 98.18) + (183.500 \times 65.45) + (182.500 \times 53.55) + (181.000 \times 31.62)) / 1574.80 \\ &= 116.3819 \text{ m (FP)} \\ &= -16.382 \text{ m (} \phi \text{)} \end{aligned}$$

KG and LCG of Group IV (Miscellaneous)

Ref: Ship Design for Efficiency and Economy page. 173

KG for Group IV

$$\begin{aligned} \text{KG}_{\text{GIV}} &= 1.00 \sim 1.05 \text{ H} \\ &= 1.05 \times 20.000 \\ &= 21.00 \text{ m} \\ \text{W}_{\text{IV}} &= 77.071 \quad \text{ton} \end{aligned}$$

LCG for Group IV (asumsi tersebar merata)

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{GIV}} &= 0.5 \times L \\ &= 0.5 \times 200.00 \text{ ton} \\ &= 100 \text{ m (FP)} \\ &= 0.000 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

TOTAL KG and LCG of Equipment and Outfitting

$$\begin{aligned} \text{KG}_{\text{E\&O}} &= ((\text{KG}_{\text{GIII}} \times \text{W}_{\text{GIII}}) + (\text{KG}_{\text{GIV}} \times \text{W}_{\text{GIV}})) / \text{W}_{\text{E\&O}} \\ \text{W}_{\text{E\&O}} &= 1651.866 \quad \text{ton} \\ \text{KG}_{\text{E\&O}} &= ((21.280 \times 1574.80) + (21.000 \times 77.07)) / 1651.87 \\ &= 21.267074 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LCG}_{\text{E\&O}} &= ((\text{LCG}_{\text{GIII}} \times \text{W}_{\text{GIII}}) + (\text{LC}_{\text{GIV}} \times \text{W}_{\text{GIV}})) / \text{W}_{\text{E\&O}} \\ \text{W}_{\text{E\&O}} &= 1651.866 \quad \text{ton} \\ \text{LCG}_{\text{E\&O}} &= ((116.382 \times 1574.80) + (100.000 \times 1574.80)) / 1651.87 \\ &= 115.61753 \text{ m (FP)} \\ &= -15.618 \text{ m (}\phi\text{)} \end{aligned}$$

IV. Payload

Position of Payload Center of Mass

KG and LCG of Payload

$$KG_{\text{pay}} = (H - H_{\text{db}}) \times 0.5 + H_{\text{db}}$$

$$KG_{\text{pay}} = ((16.0 \times 0.5) \times 0.0$$

$$KG_{\text{pay}} = 8 \text{ m}$$

$$W_{\text{pay}} = 30608.08$$

$$LCG_{\text{pay}} = L_{\text{FC-FP}} + L_{\text{rm}} \times 0.5$$

$$L_{\text{FC-FP}} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 10 \text{ m}$$

$$L_{\text{rm}} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 170.000 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{pay}} = 10.0 + 170.0 \times 0.5$$

$$LCG_{\text{pay}} = 95.000 \text{ m (FP)}$$

$$5.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

V. Position Crew and Consumable Center of Mass

Ref: Parametric Design - Chapter 11, page. 25

KG and LCG of Crew

Poop

$$\text{Crew} = 14$$

$$\text{Total Crew} = 31$$

$$W_{\text{P}} = 1.689 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{P}} = 21.500 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{P}} = 188.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -88.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Layer II

$$\text{Crew} = 9$$

$$\text{Total Crew} = 31$$

$$W_{\text{DH}} = 1.086 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{DH}} = 24.250 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{DH}} = 186.250 \text{ m (FP)}$$

$$= -86.250 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Layer III

$$\text{Crew} = 5$$

$$\text{Total Crew} = 31$$

$$W_{\text{DH}} = 0.603 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{DH}} = 26.750 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{DH}} = 183.500 \text{ m (FP)}$$

$$= -83.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Layer IV

$$\text{Crew} = 3$$

$$\text{Total Crew} = 31$$

$$W_{\text{DH}} = 0.362 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{DH}} = 29.250 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{DH}} = 182.500 \text{ m (FP)}$$

$$= -82.500 \text{ m (} \phi \text{)}$$

KG for Crew

$$KG_{\text{C\&E}} = ((KG_{\text{P}} \times W_{\text{P}}) + (KG_{\text{DHii}} \times W_{\text{DHii}}) + (KG_{\text{DHiii}} \times W_{\text{DHiii}}) + (KG_{\text{DHiv}} \times W_{\text{DHiv}})) / W_{\text{C\&E}}$$

$$W_{\text{C\&E}} = 5.270 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{C\&E}} = ((1.689 \times 21.50) + (1.086 \times 24.25) + (0.603 \times 26.75) + (0.362 \times 29.25)) / 5.27$$

$$= 16.95786 \text{ m}$$

LCG for Crew

$$LCG_{C\&E} = ((LCG_P \times W_P) + (LCG_{DH_{ii}} \times W_{DH_{ii}}) + (LCG_{DH_{iii}} \times W_{DH_{iii}}) + (LCG_{DH_{iv}} \times W_{DH_{iv}})) / W_{C\&E}$$

$$W_{C\&E} = 5.270 \quad \text{ton}$$

$$LCG_{C\&E} = ((188.000 \times 1.69) + (186.250 \times 1.09) + (183.500 \times 0.60) + (182.500 \times 0.36)) / 5.27$$

$$= 132.166 \text{ m (FP)}$$

$$= -32.166 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG and LCG of Fresh Water

$$KG_{FW} = T + ((H - T) / 2)$$

$$= 16.000 + (20.00 - 16.000) / 2)$$

$$= 18 \text{ m}$$

$$W_{FW} = 139.86196 \text{ ton}$$

$$LCG_{FW} = L - (0.5 \times L_{FW})$$

$$L_{FW} = \text{Panjang tangki fresh water}$$

$$= 4.249 \text{ m}$$

$$LCG_{FW} = 39.000 + (0.5 \times 4.25)$$

$$= 202.1245 \text{ m (FP)}$$

$$= -102.125 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{FW} = 86.19526 \text{ m}^3$$

$$H_{FW} = 2.8$$

$$= 2.80 \text{ m}$$

$$L_{FW} = 4.249$$

$$= 4.249 \text{ m}$$

$$B_{FW} = V / (L \times H)$$

$$= 7.245004 \text{ m}$$

KG and LCG of Profision Store

$$KG_{PR} = KG_P$$

$$= 21.5 \text{ m}$$

$$W_{PR} = 0.780 \text{ ton}$$

$$LCG_{PR} = LCG_P$$

$$= 188.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -88.000 \text{ m (}\phi\text{)}$$

KG and LCG of Fuel Oil

$$KG_{Fuel} = 0.5 \times 1.5$$

$$= 0.5 \times 1.50$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$W_{Fuel} = 243.12001 \text{ ton}$$

$$LCG_{Fuel} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$$

$$L_{Fuel} = \text{Panjang Tangki Fuel}$$

$$= 2.25 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 10 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 170.000 \text{ m}$$

$$LCG_{Fuel} = 10.00 + 170.00 + (0.5 \times 2.25)$$

$$= 181.125 \text{ m (FP)}$$

$$= -81.125 \text{ m (}\phi\text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{Fuel} = 17.0576 \text{ m}^3$$

$$H_{Fuel} = H_{DB}$$

$$= 1.5 \text{ m}$$

$$L_{Fuel} = 3 \times a$$

$$a = \text{Jarak Gading}$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$= 2.25 \text{ m}$$

$$B_{Fuel} = V / (L \times H)$$

$$= 5.054104 \text{ m}$$

KG and LCG of Lubrication Oil

$$KG_{LO} = 0.5 \times H_{lub}$$

$$= 0.5 \times 1.50$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$W_{LO} = 148.2043 \text{ ton}$$

$$LCG_{LO} = L_{FC-FP} + L_{CH} + (0.5 \times L_{ER})$$

$$L_{LO} = \text{Panjang Tangki L.O}$$

$$= 2 \text{ m}$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 10 \text{ m}$$

$$L_{CH} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 170.000 \text{ m}$$

$$LCG_{LO} = 10.00 + 170.00 + (0.5 \times 2.00)$$

$$= 181.000 \text{ m (FP)}$$

$$= -81.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

Dimensi Tangki

$$V_{LO} = 24.27894 \text{ m}^3$$

$$H_{LO} = H_{DB}$$

$$= 1.5 \text{ m}$$

$$L_{LO} = 2 \text{ m}$$

$$B_{LO} = V / (L \times H)$$

$$= 8.093 \text{ m}$$

TOTAL KG and LCG of Crew and Consumable

$$KG_{C\&C} = ((KG_{C\&E} \times W_{C\&E}) + (KG_{FW} \times W_{FW}) + (KG_{PR} \times W_{PR}) + (KG_{Fuel} \times W_{Fuel}) \\ + (KG_{DO} \times W_{DO}) + (KG_{LO} \times W_{LO})) / W_{C\&C}$$

$$W_{C\&C} = 534.926 \text{ ton}$$

$$KG_{C\&C} = 5.4533618 \text{ m}$$

$$LCG_{C\&C} = ((LCG_{C\&E} \times W_{C\&E}) + (LCG_{FW} \times W_{FW}) + (LCG_{PR} \times W_{PR}) + (LCG_{Fuel} \times W_{Fuel}) \\ + (LCG_{DO} \times W_{DO}) + (LCG_{LO} \times W_{LO})) / W_{C\&C}$$

$$W_{C\&C} = 534.926 \text{ ton}$$

$$LCG_{C\&C} = 185.58868 \text{ m (FP)}$$

$$= -85.589 \text{ m (} \phi \text{)}$$

VI. Position Fixed Ballast Center of Mass**KG and LCG of Fixed Ballast**

$$KG_{bal} = 10 \text{ m}$$

$$W_{bal} = 74392.05$$

$$LCG_{pay} = L_{FC-FP} + L_{rm} \times 0.5$$

$$L_{FC-FP} = \text{Panjang forecastle dibelakang FP}$$

$$= 10 \text{ m}$$


$$L_{rm} = \text{Panjang Cargo Hold}$$

$$= 170.000 \text{ m}$$

$$LCG_{pay} = 10.0 + 170.0 \times 0.5$$

$$LCG_{pay} = 95.000 \text{ m (FP)}$$

$$5.000 \text{ m (} \phi \text{)}$$

	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan			
		NRP :	4316203003			
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia				
	Total LWT+DWT					
OTEC BARGE 5mW						
NO.	ITEM	W(ton)	KG(m)	LCG(m)fp	LCG(m)(ϕ)	
	Light Weight Estimation					
1	Machinery Plant Weight	1280.11	2.13	54.58	0.42	
2	Equipment & Outfitting weight	821.84	10.86	66.49	-11.49	
3	SS&DH Weight	414.43	12.91	82.92	-27.92	
4	Hull Steel Weight	1065.41	6.29	62.82	-7.82	
5	Riser	1859.68	-281.61	49.00	6.00	
	Total LWT	5441.46	-91.89	58.24	-3.24	
	Dead Weight Estimation					
1	Mass Flow Fluid Onboard	4167.50	2.50	49.00	6.00	
2	Crew & Consumable	59.79	12.90	93.28	-38.28	
3	Fixed Ballast	6598.12	4.50	49.00	6.00	
	Total DWT	10825.41	3.78	49.24	5.76	
	TOTAL WEIGHT ESTIMATION					
	TOTAL LWT + DWT	16266.87	-28.22	52.25	2.75	
Displacement Design (Δ)		=	16429.87	ton		
Margin (Displacement - (DWT + LWT))		=	163.00	ton		
		=	0.992095	%		
LCB		=	55.0001	(m)(AP)		
LCG		=	52.25	(m)(FP)		
LCG		=	57.75	(m)(AP)		
Margin Titik berat (LCB-LCG)		=	2.75	m		
		=	2.495477	%		

OTEC BARGE 10 mW					
NO.	ITEM	W(ton)	KG(m)	LCG(m)fp	LCG(m)(φ)
	Light Weight Estimation				
1	Machinery Plant Weight	2560.45	4.18	54.59	0.41
2	Equipment & Outfitting weight	873.69	17.91	66.63	-11.63
3	SS&DH Weight	441.05	19.95	83.24	-28.24
4	Steel Weight	1497.73	9.89	61.24	-6.24
5	Riser	1859.68	-281.61	49.00	6.00
	Total LWT	7232.59	-65.50	57.73	-2.73
	Dead Weight Estimation				
1	Mass Flow Fluid Onboard	6408.00	4.50	49.00	6.00
2	Crew & Consumable	113.48	17.82	86.20	-31.20
3	Fixed Ballast	17711.71	8.00	49.00	6.00
	Total DWT	24233.19	7.12	49.17	5.83
	TOTAL WEIGHT ESTIMATION				
	TOTAL LWT + DWT	31465.78	-9.57	51.14	3.86
MARGIN CHECK					
	Displacement Design (Δ)	=	31777.78	ton	
	Margin (Displacement - (DWT + LWT))	=	312.00	ton	
		=	0.981818	%	
	LCB	=	54.934	(m)(AP)	
	LCG	=	51.14	(m)(FP)	
	LCG		58.86	(m)(AP)	
	Margin Titik berat (LCB-LCG)	=	3.93	m	
		=	3.568477	%	

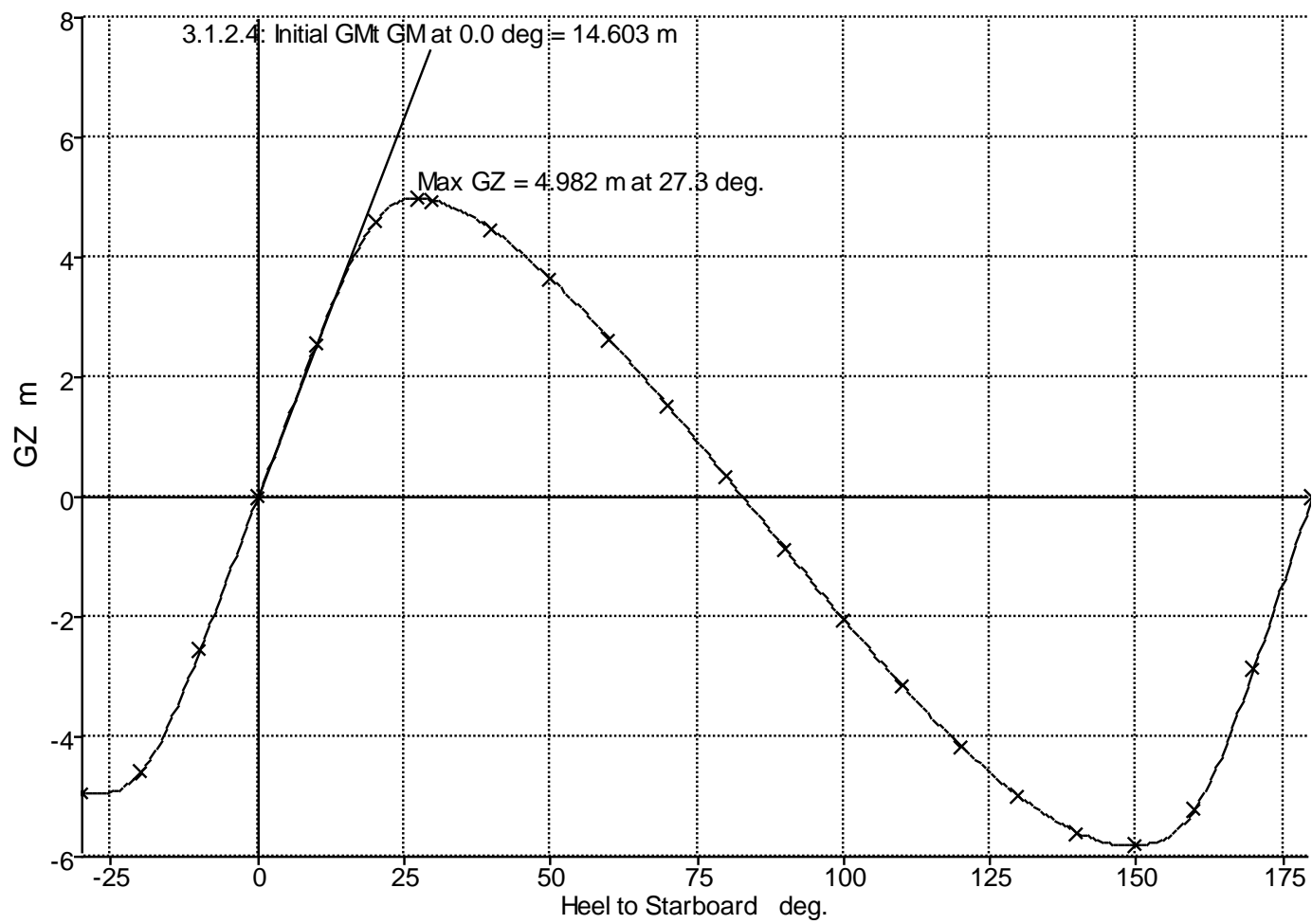
OTEC BARGE 50 mW					
NO.	ITEM	W(ton)	KG(m)	LCG(m)fp	LCG(m)(φ)
	Light Weight Estimation				
1	Machinery Plant Weight	10651.20	6.13	107.59	-7.59
2	Equipment & Outfitting weight	1651.87	21.27	115.62	-15.62
3	SS&DH Weight	577.99	23.85	153.97	-53.97
4	Steel Weight	3848.98	10.71	106.85	-6.85
5	Riser	1864.20	-281.61	81.05	18.95
	Total LWT	18594.24	-19.87	106.93	-6.93
	Dead Weight Estimation				
1	Mass Flow Fluid Onboard	30608.08	8.00	95.00	5.00
2	Crew & Consumable	537.24	16.96	132.17	-32.17
3	Fixed Ballast	74392.05	10.00	95.00	5.00
	Total DWT	105537.36	9.46	95.19	4.81
	TOTAL WEIGHT ESTIMATION				
	TOTAL LWT + DWT	124131.60	5.06	96.95	3.05

MARGIN CHECK			
Displacement Design (Δ)	=	125361.6	ton
Margin (Displacement - (DWT + LWT))	=	1230.00	ton
	=	0.981162	%
LCB	=	99.951	(m)(AP)
LCG	=	96.95	(m)(FP)
LCG	=	103.05	(m)(AP)
Margin Titik berat (LCB-LCG)	=	3.00	m
	=	2.730311	%

OTEC BARGE 5 MW

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m
Lightship	1	3649.590	3649.590			62.930	0.000	7.130	0.000
Water Ballast Tank AP	100%	1123.474	1123.474	1096.072	1096.072	2.676	0.000	5.201	0.000
Ammonia Storage TK.	50%	75.317	37.658	100.038	50.019	7.900	0.000	1.250	1983.854
FW. TK. (P)	50%	28.420	14.210	28.420	14.210	7.900	-12.500	1.250	60.417
FW. TK. (S)	50%	28.420	14.210	28.420	14.210	7.900	12.500	1.250	60.417
LO. TK. (P)	50%	20.593	10.297	21.808	10.904	14.500	-5.000	1.250	105.773
LO. TK. (S)	50%	20.593	10.297	21.808	10.904	14.500	5.000	1.250	105.773
Sea Chest	50%	6.859	3.430	6.692	3.346	14.500	0.000	1.250	3.317
FO. TK (P)	50%	31.398	15.699	33.250	16.625	16.500	-12.500	1.250	68.855
FO. TK (S)	50%	31.398	15.699	33.250	16.625	16.500	12.500	1.250	68.855
BW. TK. 1 [P]	100%	313.728	313.728	306.076	306.076	23.500	-12.481	4.536	0.000
BW. TK. 1 [P]	100%	313.728	313.728	306.076	306.076	23.500	12.481	4.536	0.000
BW. TK. 2 [P]	100%	1389.367	1389.367	1355.480	1355.480	42.500	-12.481	4.536	0.000
BW. TK. 2 [P]	100%	1389.367	1389.367	1355.480	1355.480	42.500	12.481	4.536	0.000
EV. 1 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	33.000	-3.000	1.150	0.376
EV.2 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	33.000	-7.000	1.150	0.376
EV. 1 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	33.000	3.000	1.150	0.376
EV. 2 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	33.000	7.000	1.150	0.376
CD. 1 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	52.000	-3.000	1.150	0.376
CD.2 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	52.000	-7.000	1.150	0.376

CD. 1 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	52.000	3.000	1.150	0.376
CD. 2 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	52.000	7.000	1.150	0.376
BW. TK. 3 [P]	100%	268.910	268.910	262.351	262.351	61.000	-12.481	4.536	0.000
BW. TK. 3 [P]	100%	268.910	268.910	262.351	262.351	61.000	12.481	4.536	0.000
BW. TK. 4 [P]	100%	1389.367	1389.367	1355.480	1355.480	79.500	-12.481	4.536	0.000
BW. TK. 4 [P]	100%	1389.367	1389.367	1355.480	1355.480	79.500	12.481	4.536	0.000
CD. 3 [P]	50%	6.927	3.463	9.200	4.600	69.000	-3.000	1.150	0.251
CD.4 [P]	50%	6.927	3.463	9.200	4.600	69.000	-7.000	1.150	0.251
CD.3 [S]	50%	6.927	3.463	9.200	4.600	69.000	3.000	1.150	0.251
CD. 4[S]	50%	6.927	3.463	9.200	4.600	69.000	7.000	1.150	0.251
BW. TK. 5 [P]	100%	313.728	313.728	306.076	306.076	98.500	-12.481	4.536	0.000
BW. TK. 5 [P]	100%	313.728	313.728	306.076	306.076	98.500	12.481	4.536	0.000
EV. 1 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	90.000	-3.000	1.150	0.376
EV.2 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	90.000	-7.000	1.150	0.376
EV. 1 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	90.000	3.000	1.150	0.376
EV. 2 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	90.000	7.000	1.150	0.376
Water Ballast Tank FP	100%	1934.703	1934.703	1887.515	1887.515	105.721	0.000	4.911	0.000



Stability

GZ

3.1.2.4: Initial GMt GM at 0.0 deg = 14.603 m

Max GZ = 4.982 m at 27.3 deg.

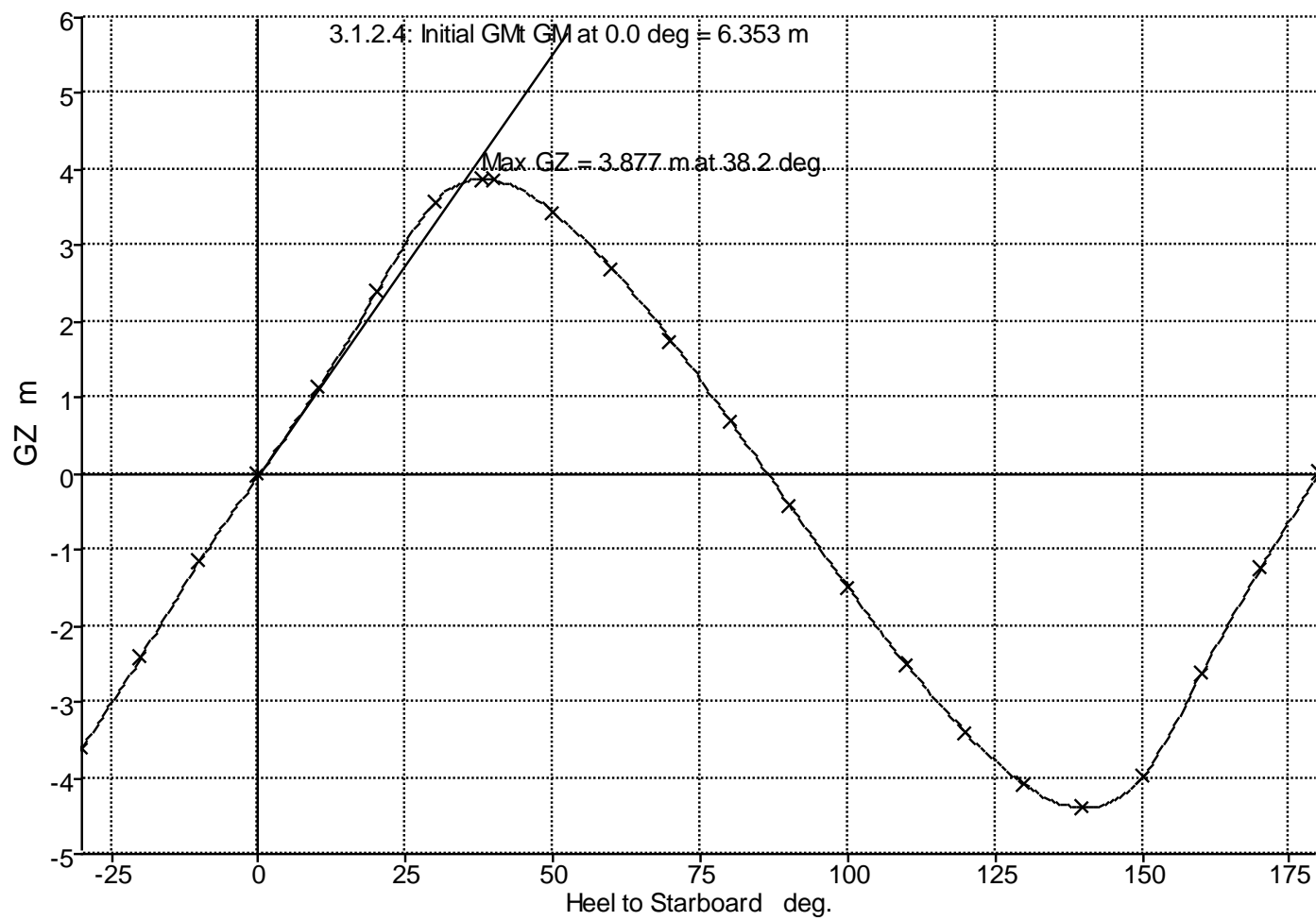
Heel to Starboard deg	-30.0	-20.0	-10.0	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
GZ m	-4.946	-4.601	-2.564	0.000	2.564	4.601	4.946	4.471	3.652	2.642	1.518	0.335	-0.864	-2.038
Area under GZ curve from zero heel m.deg	98.5826	49.8153	12.8908	0.0000	12.8995	49.7772	98.7112	146.1624	186.9838	218.5696	239.4410	248.7376	246.0868	231.5378
Displacement t	14256	14256	14256	14255	14256	14256	14254	14254	14256	14256	14256	14256	14255	14256
Draft at FP m	7.769	6.592	6.165	6.138	6.165	6.593	7.770	9.328	11.474	14.807	21.063	38.927	n/a	29.598
Draft at AP m	0.546	1.998	2.562	2.615	2.562	1.997	0.544	-1.374	-4.002	-8.077	-15.727	-37.606	n/a	-46.491
WL Length m	110.178	110.085	110.057	109.464	110.057	110.085	110.178	110.305	110.449	110.594	110.717	110.800	110.828	110.791
Beam max extents on WL m	18.000	26.314	30.463	30.000	30.463	26.314	18.000	14.002	11.749	10.392	9.578	9.139	9.000	9.139
Wetted Area m ²	4192.928	4187.154	4184.205	4191.944	4184.244	4187.197	4192.676	4203.561	4211.130	4216.509	4220.894	4224.747	4228.319	4232.025
Waterpl. Area m ²	1951.859	2725.990	3299.190	3280.852	3299.198	2725.866	1951.859	1518.936	1274.149	1125.749	1035.372	985.297	967.628	980.425
Prismatic coeff. (Cp)	0.702	0.705	0.707	0.714	0.707	0.705	0.702	0.698	0.694	0.690	0.687	0.685	0.685	0.687
Block coeff. (Cb)	0.521	0.444	0.497	0.711	0.497	0.444	0.521	0.570	0.605	0.628	0.648	0.662	0.671	0.648
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	62.812	62.697	62.647	62.639	62.646	62.700	62.818	62.966	63.110	63.251	63.362	63.427	63.445	63.379
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	55.014	55.679	55.803	55.316	55.803	55.679	55.014	55.014	55.027	55.043	55.060	55.075	55.084	55.084
Max deck inclination deg	30.1597	20.1207	10.1675	1.8345	10.1675	20.1209	30.1598	40.1885	50.1951	60.1774	70.1351	80.0729	90.0000	99.9279
Trim angle (+ve by stern) deg	-3.7566	-2.3915	-1.8761	-1.8345	-1.8760	-2.3926	-3.7587	-5.5571	-8.0085	-11.7524	-18.4930	-34.8283	-90.0000	-34.6725

STABILITY ANALYSIS CHECK RESULT (5 MW)						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	98.7112	Pass	+3032.40
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	146.1624	Pass	+2734.47
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	47.4512	Pass	+2660.56
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	4.946	Pass	+2373.00
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	27.3	Pass	+9.09
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	14.603	Pass	+9635.33

OTEC BARGE 10 MW

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m
Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m
Lightship	1	6521.800	6521.800			55.200	0.000	9.300	0.000
Water Ballast Tank AP	100%	2280.828	2280.828	2225.198	2225.198	2.597	0.000	8.725	0.000
Ammonia Storage TK.	50%	150.638	75.319	200.077	100.038	7.900	0.000	1.500	1983.910
FW. TK. (P)	50%	65.366	32.683	65.366	32.683	7.900	-12.875	1.500	91.886
FW. TK. (S)	100%	65.366	65.366	65.366	65.366	7.900	12.875	2.000	0.000
LO. TK. (P)	50%	41.187	20.593	43.616	21.808	14.500	-5.000	1.500	105.773
LO. TK. (S)	50%	41.187	20.593	43.616	21.808	14.500	5.000	1.500	105.773
Sea Chest	50%	13.718	6.859	13.384	6.692	14.500	0.000	1.500	3.317
FO. TK (P)	50%	72.215	36.108	76.475	38.237	16.500	-12.875	1.500	104.720
FO. TK (S)	50%	62.796	31.398	66.500	33.250	16.500	12.500	1.500	68.855
BW. TK. 1 [P]	100%	644.050	644.050	628.342	628.342	23.500	-12.864	8.034	0.000
BW. TK. 1 [P]	100%	644.050	644.050	628.342	628.342	23.500	12.864	8.034	0.000
BW. TK. 2 [P]	100%	2852.223	2852.223	2782.656	2782.656	42.500	-12.864	8.034	0.000
BW. TK. 2 [P]	100%	2852.223	2852.223	2782.656	2782.656	42.500	12.864	8.034	0.000
EV. 1 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	33.000	-3.000	1.150	0.376
EV.2 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	33.000	-7.000	1.150	0.376
EV. 1 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	33.000	3.000	1.150	0.376
EV. 2 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	33.000	7.000	1.150	0.376

CD. 1 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	52.000	-3.000	1.150	0.376
CD.2 [P]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	52.000	-7.000	1.150	0.376
CD. 1 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	52.000	3.000	1.150	0.376
CD. 2 [S]	50%	10.390	5.195	13.800	6.900	52.000	7.000	1.150	0.376
BW. TK. 3 [P]	100%	552.043	552.043	538.579	538.579	61.000	-12.864	8.034	0.000
BW. TK. 3 [P]	100%	552.043	552.043	538.579	538.579	61.000	12.864	8.034	0.000
BW. TK. 4 [P]	100%	2852.223	2852.223	2782.656	2782.656	79.500	-12.864	8.034	0.000
BW. TK. 4 [P]	100%	2852.223	2852.223	2782.656	2782.656	79.500	12.864	8.034	0.000
CD. 3 [P]	50%	6.927	3.463	9.200	4.600	69.000	-3.000	1.150	0.251
CD.4 [P]	50%	6.927	3.463	9.200	4.600	69.000	-7.000	1.150	0.251
CD.3 [S]	50%	6.927	3.463	9.200	4.600	69.000	3.000	1.150	0.251
CD. 4[S]	50%	6.927	3.463	9.200	4.600	69.000	7.000	1.150	0.251
BW. TK. 5 [P]	100%	644.050	644.050	628.342	628.342	98.500	-12.864	8.034	0.000
BW. TK. 5 [P]	100%	644.050	644.050	628.342	628.342	98.500	12.864	8.034	0.000
EV. 1 [P]	100%	10.390	10.390	13.800	13.800	90.000	-3.000	2.300	0.000
EV.2 [P]	100%	10.390	10.390	13.800	13.800	90.000	-7.000	2.300	0.000
EV. 1 [S]	100%	10.390	10.390	13.800	13.800	90.000	3.000	2.300	0.000
EV. 2 [S]	100%	10.390	10.390	13.800	13.800	90.000	7.000	2.300	0.000



Stability	
<div></div>	GZ
<div></div>	3.1.2.4: Initial GMt GM at 0.0 deg = 6.353 m
<div></div>	Max GZ = 3.877 m at 38.2 deg.

Heel to Starboard deg	-30.0	-20.0	-10.0	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
GZ m	-3.600	-2.408	-1.143	-0.013	1.118	2.385	3.578	3.863	3.453	2.696	1.746	0.690	-0.408	-1.435
Area under GZ curve from zero heel m.deg	53.5272	23.4121	5.6856	-0.0229	5.4537	22.8386	53.0999	91.0902	128.0696	159.0175	181.3447	193.5853	195.0089	213.0400
Displacement t	27567	27567	27567	27567	27567	27565	27567	27567	27567	27567	27567	27567	27566	25965
Draft at FP m	10.944	10.539	10.529	10.529	10.529	10.539	10.944	12.170	13.935	16.673	21.816	36.497	n/a	23.378
Draft at AP m	5.142	5.591	5.616	5.617	5.617	5.590	5.142	3.856	2.011	-0.852	-6.228	-21.585	n/a	-51.019
WL Length m	110.115	110.098	110.106	110.110	110.106	110.098	110.115	110.184	110.267	110.348	110.417	110.461	110.472	110.756
Beam max extents on WL m	32.000	33.522	31.986	31.500	31.986	33.522	32.000	24.892	20.887	18.475	17.027	16.247	16.000	16.247
Wetted Area m ²	5297.082	5230.241	5225.607	5225.625	5225.634	5230.108	5297.123	5333.779	5353.350	5367.825	5379.628	5390.062	5399.829	5188.003
Waterpl. Area m ²	3348.903	3653.453	3519.750	3466.497	3519.750	3653.437	3348.875	2691.745	2258.197	1996.116	1837.433	1750.566	1721.294	1739.188
Prismatic coeff. (Cp)	0.768	0.767	0.767	0.767	0.767	0.767	0.768	0.767	0.766	0.765	0.764	0.764	0.765	0.708
Block coeff. (Cb)	0.463	0.499	0.609	0.766	0.609	0.499	0.463	0.535	0.590	0.635	0.677	0.718	0.741	0.638
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	59.857	59.818	59.814	59.812	59.814	59.819	59.858	59.964	60.079	60.188	60.275	60.327	60.333	62.491
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	54.730	55.295	55.001	55.000	55.001	55.295	54.730	54.523	54.529	54.535	54.538	54.535	54.527	54.634
Max deck inclination deg	30.1032	20.1400	10.3091	2.5567	10.3091	20.1400	30.1032	40.1140	50.1162	60.1044	70.0788	80.0422	90.0000	99.9310
Trim angle (+ve by stern) deg	-3.0190	-2.5758	-2.5574	-2.5567	-2.5572	-2.5761	-3.0194	-4.3224	-6.1866	-9.0522	-14.3027	-27.8346	-90.0000	-34.0720

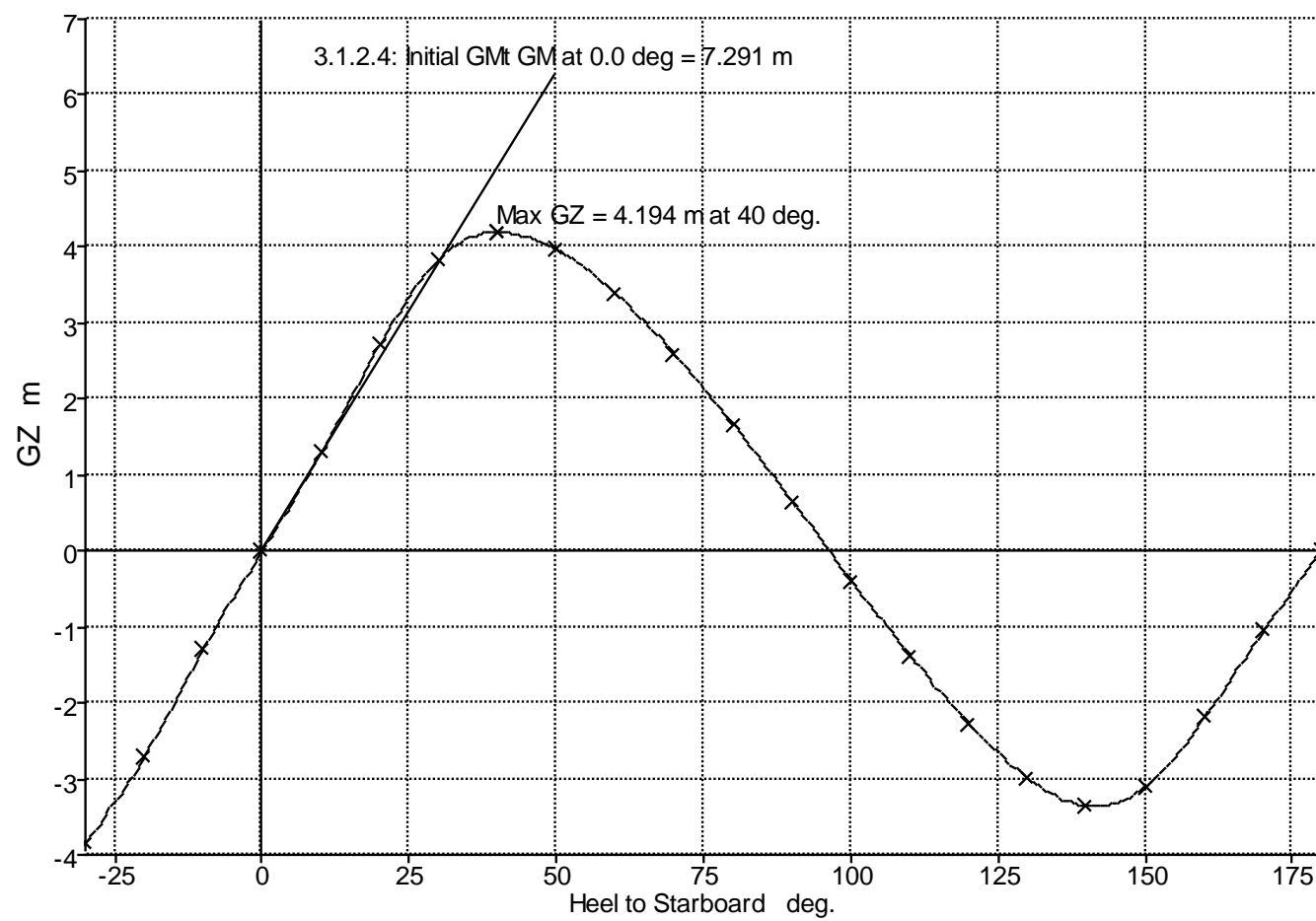
STABILITY ANALYSIS CHECK RESULT (10 MW)						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	53.0999	Pass	+1585.02
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	91.0902	Pass	+1666.48
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	37.9903	Pass	+2110.15
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	3.877	Pass	+1838.50
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	38.2	Pass	+52.73
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	6.353	Pass	+4135.33

OTEC BARGE 50 MW

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m
Lightship	1	16734.000	16734.000			109.810	0.000	6.830	0.000
Water Ballast Tank AP	100%	3173.379	3173.379	3095.979	3095.979	2.701	0.000	11.667	0.000
Ammonia Storage TK.	100%	213.974	213.974	284.200	284.200	7.900	0.000	2.750	0.000
FW. TK. (P)	100%	88.178	88.178	88.178	88.178	7.900	-16.354	2.758	0.000
FW. TK. (S)	100%	85.067	85.067	85.067	85.067	7.900	16.243	2.753	0.000
LO. TK. (P)	100%	81.249	81.249	86.041	86.041	14.500	-7.212	2.750	0.000
LO. TK. (S)	100%	81.249	81.249	86.041	86.041	14.500	7.212	2.750	0.000
Sea Chest	100%	17.148	17.148	16.729	16.729	14.500	0.000	2.750	0.000
FO. TK (P)	100%	97.418	97.418	103.164	103.164	16.500	-16.354	2.758	0.000
FO. TK (S)	100%	97.418	97.418	103.164	103.164	16.500	16.354	2.758	0.000
Ammonia Storage TK.	100%	556.333	556.333	738.920	738.920	7.900	0.000	4.750	0.000
FW. TK. (P)	100%	230.278	230.278	230.278	230.278	7.900	-16.367	4.759	0.000
FW. TK. (S)	100%	230.278	230.278	230.278	230.278	7.900	16.367	4.759	0.000
LO. TK. (P)	100%	211.247	211.247	223.708	223.708	14.500	-7.212	4.750	0.000
LO. TK. (S)	100%	211.247	211.247	223.708	223.708	14.500	7.212	4.750	0.000
Sea Chest	100%	44.584	44.584	43.497	43.497	14.500	0.000	4.750	0.000
FO. TK (P)	100%	254.408	254.408	269.414	269.414	16.500	-16.367	4.759	0.000
FO. TK (S)	100%	254.408	254.408	269.414	269.414	16.500	16.367	4.759	0.000
BW. TK. 1 [P]	100%	1722.471	1722.471	1680.460	1680.460	27.000	-16.329	10.193	0.000
BW. TK. 1 [S]	100%	1722.471	1722.471	1680.460	1680.460	27.000	16.329	10.193	0.000
BW. TK. 2 [P]	100%	8120.222	8120.222	7922.168	7922.168	67.000	-16.329	10.193	0.000
BW. TK. 2 [S]	100%	8120.222	8120.222	7922.168	7922.168	67.000	16.329	10.193	0.000
BW. TK. 3 [P]	100%	1230.337	1230.337	1200.329	1200.329	105.000	-16.329	10.193	0.000
BW. TK.3 [S]	100%	1230.337	1230.337	1200.329	1200.329	105.000	16.329	10.193	0.000
BW. TK. 4 [P]	100%	8120.222	8120.222	7922.168	7922.168	143.000	-16.329	10.193	0.000
BW. TK. 4 [S]	100%	8120.222	8120.222	7922.168	7922.168	143.000	16.329	10.193	0.000
BW. TK. 5 [P]	100%	1722.471	1722.471	1680.460	1680.460	183.000	-16.329	10.193	0.000

BW. TK. 5 [S]	100%	1722.471	1722.471	1680.460	1680.460	183.000	16.329	10.193	0.000
Water Ballast Tank FP	100%	6996.549	6996.549	6825.901	6825.901	194.641	0.000	10.863	0.000
EV. 1 [P]	100%	20.780	20.780	27.600	27.600	39.000	-3.000	6.900	0.000
EV.1 [S]	100%	20.780	20.780	27.600	27.600	39.000	3.000	6.900	0.000
EV.4 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	47.500	-7.000	6.900	0.000
EV.4 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	47.500	7.000	6.900	0.000
EV.5 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	55.500	-3.000	6.900	0.000
EV.5 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	55.500	3.000	6.900	0.000
EV.2 [P]	100%	20.780	20.780	27.600	27.600	39.000	-7.000	6.900	0.000
EV.2 [S]	100%	20.780	20.780	27.600	27.600	39.000	7.000	6.900	0.000
EV.3 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	47.500	-3.000	6.900	0.000
EV.3 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	47.500	3.000	6.900	0.000
EV.6 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	55.500	-7.000	6.900	0.000
EV.6 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	55.500	7.000	6.900	0.000
EV.7 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	154.500	-3.000	6.900	0.000
EV.7 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	154.500	3.000	6.900	0.000
EV.8 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	154.500	-7.000	6.900	0.000
EV.8 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	154.500	7.000	6.900	0.000
EV.9 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	162.500	-3.000	6.900	0.000
EV.9 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	162.500	3.000	6.900	0.000
EV.10 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	162.500	-7.000	6.900	0.000
EV.10 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	162.500	7.000	6.900	0.000
EV.11 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	170.500	-3.000	6.900	0.000
EV.11 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	170.500	3.000	6.900	0.000
EV.12 [P]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	170.500	-7.000	6.900	0.000
EV.12 [S]	100%	25.975	25.975	34.500	34.500	170.500	7.000	6.900	0.000
WW. IN (P)	100%	3726.695	3726.695	3635.800	3635.800	27.000	-6.625	10.000	0.000
WW. IN (S)	100%	3726.695	3726.695	3635.800	3635.800	27.000	6.625	10.000	0.000
WW. OUT (P)	100%	2661.925	2661.925	2597.000	2597.000	67.000	-6.625	10.000	0.000
WW. OUT (S)	100%	2661.925	2661.925	2597.000	2597.000	67.000	6.625	10.000	0.000
WW. IN 2 (P)	100%	3726.695	3726.695	3635.800	3635.800	183.000	-6.625	10.000	0.000
WW. IN 2 (S)	100%	3726.695	3726.695	3635.800	3635.800	183.000	6.625	10.000	0.000

CW IN	100%	2661.925	2661.925	2597.000	2597.000	105.000	-6.625	10.000	0.000
CW IN	100%	2661.925	2661.925	2597.000	2597.000	105.000	6.625	10.000	0.000
Total Loadcase			97646.962	79546.453	79546.453	104.231	-0.001	9.473	0.000
FS correction								0.000	
VCG fluid								9.473	



Stability

■ GZ

■ 3.1.2.4: Initial GMt GM at 0.0 deg = 7.291 m


■ Max GZ = 4.194 m at 40 deg.

Heel to Starboard deg	-30.0	-20.0	-10.0	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
GZ m	-3.837	-2.714	-1.293	0.001	1.295	2.715	3.838	4.194	3.975	3.393	2.593	1.657	0.647	-0.382
Area under GZ curve from zero heel m.deg	59.4337	26.4570	6.3358	0.0012	6.3632	26.4202	59.6938	100.4666	141.6763	178.7496	208.8205	230.1536	241.7109	243.0275
Displacement t	97643	97647	97647	97647	97647	97652	97647	97646	97647	97647	97647	97647	97648	97647
Draft at FP m	14.958	14.155	14.130	14.130	14.130	14.158	14.954	16.735	19.517	23.843	31.977	55.376	n/a	35.246
Draft at AP m	10.916	10.930	10.944	10.944	10.944	10.929	10.920	11.295	11.798	12.536	13.918	17.922	n/a	-2.240
WL Length m	200.031	200.023	200.025	200.025	200.025	200.023	200.030	200.043	200.062	200.080	200.095	200.106	200.109	200.106
Beam max extents on WL m	38.549	41.503	39.602	39.000	39.602	41.503	38.544	31.114	26.108	23.094	21.284	20.309	20.000	20.309
Wetted Area m ²	12990.292	12304.022	12223.645	12223.981	12223.662	12304.575	12990.569	13323.775	13367.007	13369.331	13371.227	13372.891	13374.503	13375.974
Waterpl. Area m ²	7177.750	8140.794	7911.737	7791.599	7911.737	8140.337	7177.784	6083.996	5172.520	4574.960	4215.672	4021.765	3959.882	4020.284
Prismatic coeff. (Cp)	0.880	0.880	0.878	0.878	0.878	0.880	0.880	0.878	0.877	0.876	0.876	0.876	0.877	0.877
Block coeff. (Cb)	0.581	0.605	0.718	0.870	0.718	0.605	0.581	0.644	0.699	0.745	0.787	0.829	0.869	0.816
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	104.307	104.279	104.281	104.280	104.281	104.284	104.298	104.330	104.368	104.405	104.438	104.461	104.454	104.468
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	97.483	98.870	100.001	100.000	100.001	98.866	97.488	99.113	99.970	99.953	99.920	99.872	99.814	99.753
Max deck inclination deg	30.0152	20.0181	10.0399	0.9124	10.0399	20.0181	30.0151	40.0148	50.0148	60.0132	70.0099	80.0053	90.0000	99.9947
Trim angle (+ve by stern) deg	-1.1577	-0.9239	-0.9126	-0.9124	-0.9126	-0.9251	-1.1554	-1.5581	-2.2103	-3.2359	-5.1595	-10.6069	-90.0000	-10.6158

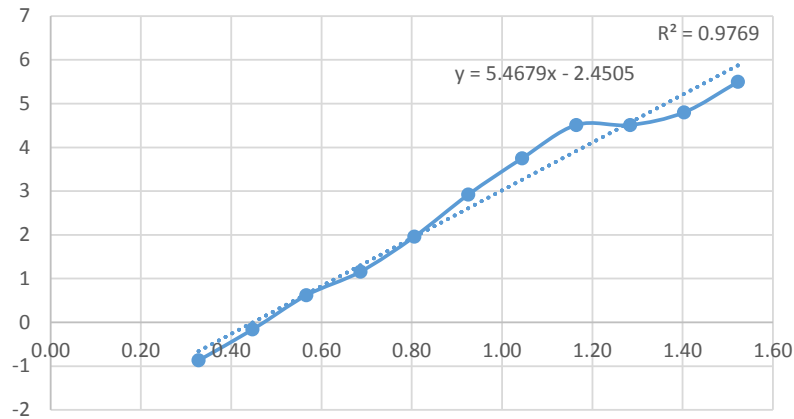
STABILITY ANALYSIS CHECK RESULT (10 MW)						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 0 to 30	3.1513	m.deg	59.6938	Pass	+1794.26
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 0 to 40	5.1566	m.deg	100.4666	Pass	+1848.31
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.1: Area 30 to 40	1.7189	m.deg	40.7728	Pass	+2272.03
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	4.194	Pass	+1997.00
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.0	deg	40.0	Pass	+60.00
2008 IS Code/Ch.2	3.1.2.4: Initial GMt	0.150	m	7.291	Pass	+4760.67

SUMMARY ANALISA STABILITAS

CODE	STABILITY	VALUE REQ.	UNIT	5 MW	10 MW	50 MW	STATUS
2008 IS Code/Ch.2	Area 0 to 30	3.1513	m.deg	98.7112	53.0999	59.6938	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Area 0 to 40	5.1566	m.deg	146.1624	91.0902	100.4666	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Area 30 to 40	1.7189	m.deg	47.4512	37.9903	40.7728	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Max GZ at 30 or greater	0.200	m	4.946	3.877	4.194	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Angle of maximum GZ	25.0	deg	27.3	38.2	40.0	Pass
2008 IS Code/Ch.2	Initial GMt	0.150	m	14.603	6.353	7.291	Pass

 Thesis		Nama :		Muhamad Fyan										
		NRP :		4316203003										
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia												
Data of Significant Wave Height I														
Hs (m)	Tp(s)													
	4.76	5.30	5.84	6.39	6.93	7.47	8.01	8.55	9.10	9.10	9.64	10.18	Jumlah	
	0.33		4	1	14	11	19	22	28	19	15	1		134
	0.45	14	11	29	49	44	50	37	36	19	9	12	6	316
	0.57	8	43	52	89	73	54	30	25	10	11	8	1	404
	0.69	17	34	44	46	31	10	13	9	2	3	2	4	215
	0.81	13	59	57	24	20	18	6	3	2				202
	0.93	2	34	35	24	9	4	3	2	2	1			116
	1.04	2	8	30	3									43
	1.16		11	3	4									18
	1.28													0
	1.40			4										4
	1.52			4	2									6
	1.64			2	4									6
	Grand	56	204	261	259	188	155	111	103	54	39	23	11	1464
No.	P	Q	Hs	ln H	Gumbel	Weibul	λ = Number of data/year λ = 1464							
1	0.09153	0.90847	0.33	-1.11627	-0.87175	0.164858								
2	0.307377	0.692623	0.45	-0.8052	-0.16524	0.462778								
3	0.583333	0.416667	0.57	-0.56828	0.618046	0.902755								
4	0.730191	0.269809	0.69	-0.37688	1.156934	1.23089								
5	0.868169	0.131831	0.81	-0.21629	1.956386	1.721534								
6	0.947404	0.052596	0.93	-0.07796	2.918229	2.295349								
7	0.976776	0.023224	1.04	0.043538	3.750841	2.771279								
8	0.989071	0.010929	1.16	0.151862	4.510849	3.189201								
9	0.989071	0.010929	1.28	0.249591	4.510849	3.189201								
10	0.991803	0.008197	1.40	0.338613	4.799909	3.344348								
11	0.995902	0.004098	1.52	0.420354	5.495116	3.709691								
12	1	0	1.64	0.495915										

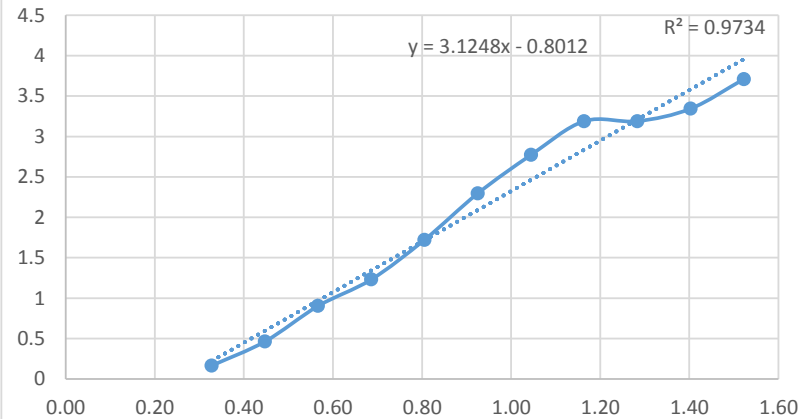
Gumbel Distribution



$$Y = Ax + B$$

$$\begin{aligned} A &= 5.4679 \\ B &= -2.4505 \\ \beta &= 0.182886 \\ \gamma &= 0.448161 \end{aligned}$$

Weibull Distribution



$$Y = Ax + B$$


$$\begin{aligned} A &= 3.1248 \\ B &= -0.8012 \\ \beta &= 0.32002 \\ \gamma &= 0.2564 \end{aligned}$$

GUMBEL DISTRIBUTION

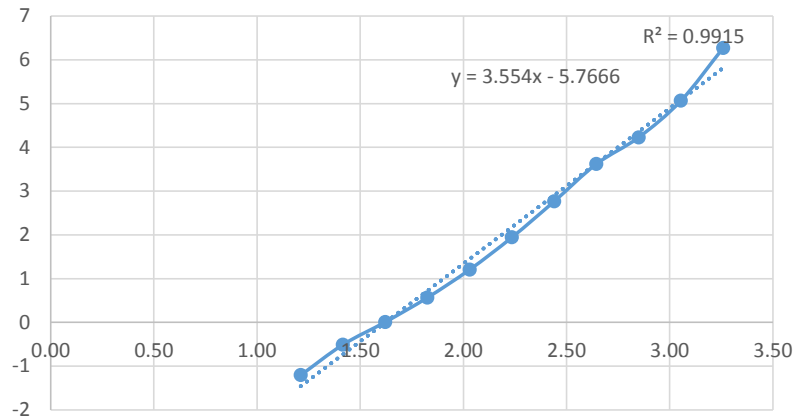
					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.183	0.448	2.329	2.497	2.623	2.750	

WEIBULL DISTRIBUTION

					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.320	0.256	2.179	2.309	2.406	2.502	

 Thesis		Nama :		Muhamad Fyan										
		NRP :		4316203003										
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia												
Data of Significant Wave Height II														
Hs (m)	Tp(s)													
	8.23	8.86	9.49	10.11	10.74	11.36	11.99	12.62	13.24	13.87	14.49	15.12	Jumlah	
	1.21	3		16	27	5	5							56
	1.42	9	9	22	69	92	35	6	2					244
	1.62	15	9	20	48	86	70	17	22					287
	1.83	16	18	21	36	79	72	38	27	5				312
	2.03	10	11	24	11	50	46	62	42	13	8			277
	2.24		3	7	14	16	40	39	35	35	6	4		199
	2.44		1	2	10	7	30	9	22	14	15	5		115
	2.64					2	6	8	11	6	20	2		55
	2.85								4	3	4	2	6	19
	3.05								3	2	2		6	13
	3.26								1	3	3			7
	3.46										3			3
	Grand	53	51	112	215	337	304	179	169	81	61	13	12	1587
	No.	P	Q	Hs	ln H	Gumbel	Weibul	λ = Number of data/year λ = 1587						
	1	0.035287	0.964713	1.21	0.191997	-1.20724	0.077403							
2	0.189036	0.810964	1.42	0.348071	-0.51032	0.300527								
3	0.36988	0.63012	1.62	0.483043	0.005439	0.551976								
4	0.566478	0.433522	1.83	0.601945	0.565075	0.871131								
5	0.741021	0.258979	2.03	0.7082	1.204885	1.260393								
6	0.866415	0.133585	2.24	0.804241	1.942175	1.712886								
7	0.938878	0.061122	2.44	0.891861	2.763521	2.20474								
8	0.973535	0.026465	2.64	0.972419	3.61855	2.696964								
9	0.985507	0.014493	2.85	1.046968	4.226816	3.034761								
10	0.993699	0.006301	3.05	1.116343	5.063857	3.484313								
11	0.99811	0.00189	3.26	1.181216	6.270043	4.10521								
12	1	0	3.46	1.242135										

Gumbel Distribution



$$Y = Ax+B$$

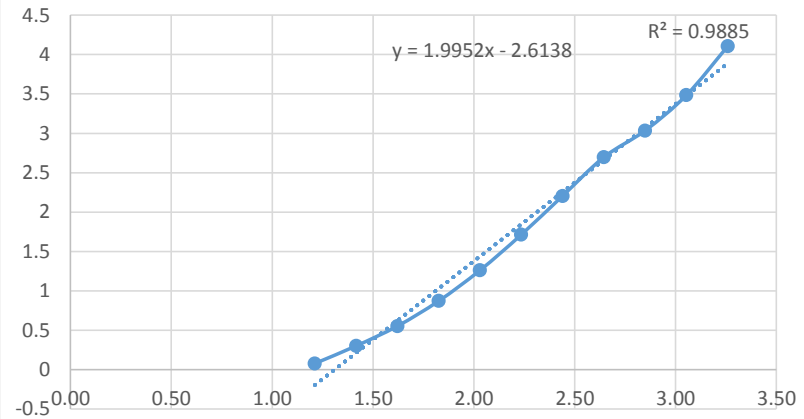
$$A = 3.55$$

$$B = -5.7666$$

$$\beta = 0.28169$$

$$\gamma = 1.624394$$

Weibull Distribution



$$Y = Ax+B$$

$$A = 1.9952$$

$$B = -2.6138$$

$$\beta = 0.501203$$


$$\gamma = 1.310044$$

GUMBEL DISTRIBUTION

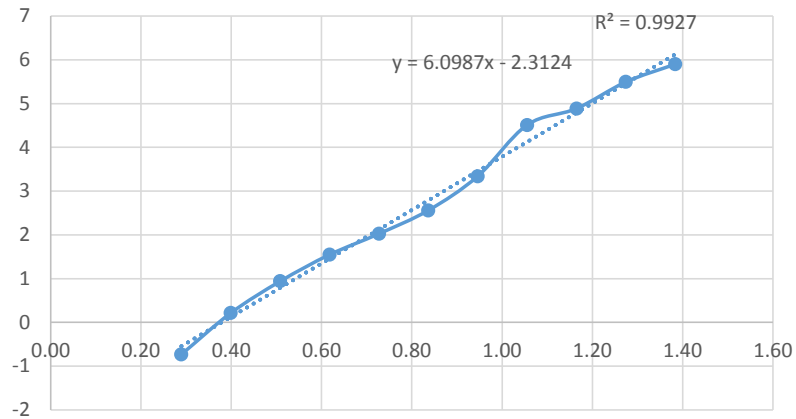
					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,587	1,587.000	1.300	0.282	1.624	4.544	4.802	4.998	5.193	

WEIBULL DISTRIBUTION

					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,587	1,587.000	1.300	0.501	1.310	4.339	4.542	4.694	4.844	

 Thesis		Nama :		Muhamad Fyan										
		NRP :		4316203003										
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia												
Data of Significant Wave Height III														
Hs (m)	Tp(s)													
	3.93	4.19	4.45	4.71	4.98	5.24	5.50	5.76	6.02	6.28	6.54	6.80	Jumlah	
	0.29	4	7	29	66	34	19	18	4	1				182
	0.40	13	27	70	96	123	79	43	15	4				470
	0.51	12	21	72	48	55	61	35	24	6	4			338
	0.62		3	28	28	26	24	43	26	7		4	4	193
	0.73			2	17	17	15	10	16	7	9	7		100
	0.84					17	22	10	11	7	5			72
	0.95					2	23	16	7	8	2			58
	1.06						4	3	12	11	3		2	35
	1.16								1	1	1		2	5
	1.27									3			2	5
	1.38												2	2
	1.49									1	3			4
	Grand	29	58	201	255	274	247	178	116	56	27	11	12	1464
No.	P	Q	Hs	ln H	Gumbel	Weibul	<div>λ = Number of data/year</div> <div>λ = 1464</div>							
1	0.124317	0.875683	0.29	-1.23989	-0.73473	0.21155								
2	0.445355	0.554645	0.40	-0.91921	0.212101	0.665898								
3	0.67623	0.32377	0.51	-0.67678	0.938478	1.096869								
4	0.80806	0.19194	0.62	-0.48181	1.545905	1.470318								
5	0.876366	0.123634	0.73	-0.31871	2.025171	1.763337								
6	0.925546	0.074454	0.84	-0.17853	2.559144	2.084007								
7	0.965164	0.034836	0.95	-0.0556	3.339426	2.538564								
8	0.989071	0.010929	1.06	0.053857	4.510849	3.189201								
9	0.992486	0.007514	1.16	0.152506	4.887264	3.390846								
10	0.995902	0.004098	1.27	0.242292	5.495116	3.709691								
11	0.997268	0.002732	1.38	0.324677	5.901266	3.918431								
12	1	0	1.49	0.400788										

Gumbel Distribution



$$Y = Ax + B$$

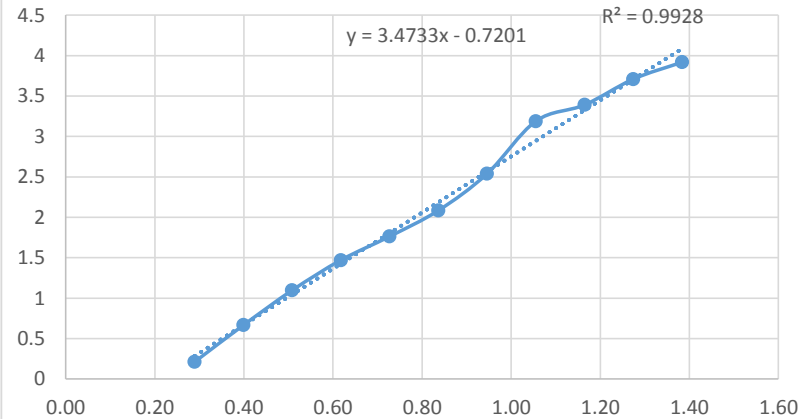
$$A = 6.0987$$

$$B = -2.3124$$

$$\beta = 0.163969$$

$$\gamma = 0.379163$$

Weibull Distribution



$$Y = Ax + B$$

$$A = 3.4733$$

$$B = -0.7201$$

$$\beta = 0.287911$$


$$\gamma = 0.207324$$

GUMBEL DISTRIBUTION

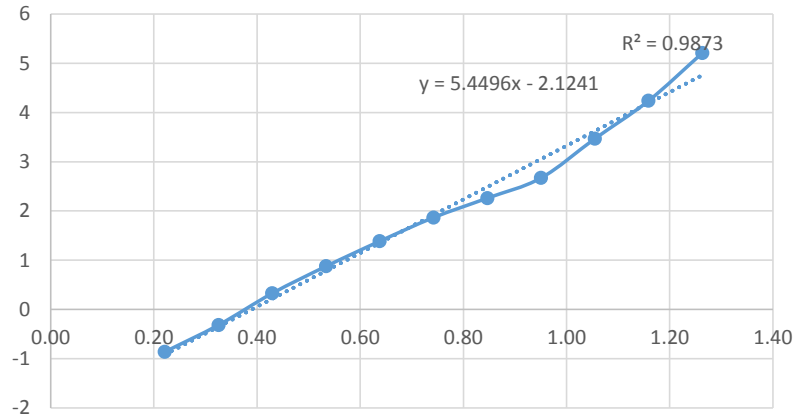
					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.164	0.379	2.066	2.216	2.329	2.443	

WEIBULL DISTRIBUTION

					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.288	0.207	1.937	2.054	2.141	2.227	

 Thesis		Nama :		Muhamad Fyan										
		NRP :		4316203003										
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia												
Data of Significant Wave Height IV														
Hs (m)	Tp(s)													
	2.82	3.14	3.46	3.78	4.09	4.41	4.73	5.05	5.37	5.69	6.00	6.32	Jumlah	
	0.22	4		13	16	35	36	27		2	2	2		137
	0.33	4	15	19	31	27	54	50	19	9	2	2	2	234
	0.43		12	20	47	59	51	85	28	32	6	1		341
	0.53			10	30	63	32	52	37	17	8	4		253
	0.64				18	11	55	49	15	17	3	7		175
	0.74				7	15	39	12	11	13	17			114
	0.85				1	2	11	15	3	26	4	3		65
	0.95					1		6	17	12	10	1		47
	1.05							1	33	7	12			53
	1.16								4	10	6	4		24
	1.26								3	7	3			13
	1.37									2	2		4	8
	Grand	8	27	62	150	213	278	297	170	154	75	24	6	1464
No.	P	Q	Hs	ln H	Gumbel	Weibul	λ = Number of data/year λ = 1464							
1	0.093579	0.906421	0.22	-1.50884	-0.86245	0.167833								
2	0.253415	0.746585	0.33	-1.1229	-0.3168	0.388184								
3	0.486339	0.513661	0.43	-0.84513	0.327325	0.731656								
4	0.659153	0.340847	0.53	-0.62798	0.87515	1.058207								
5	0.778689	0.221311	0.64	-0.44968	1.385718	1.371743								
6	0.856557	0.143443	0.74	-0.29841	1.865402	1.666093								
7	0.900956	0.099044	0.85	-0.16704	2.260498	1.905543								
8	0.93306	0.06694	0.95	-0.05094	2.669517	2.149354								
9	0.969262	0.030738	1.05	0.053067	3.466696	2.61106								
10	0.985656	0.014344	1.16	0.14727	4.23719	3.040437								
11	0.994536	0.005464	1.26	0.233358	5.206748	3.559432								
12	1	0	1.37	0.312619										

Gumbel Distribution



$$Y = Ax + B$$

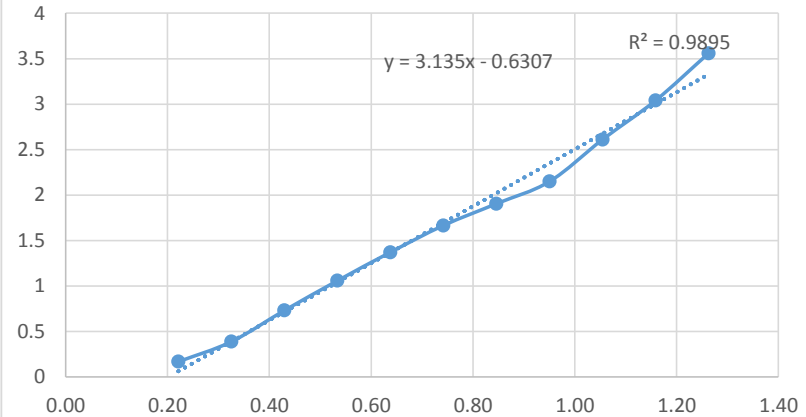
$$A = 5.4496$$

$$B = -2.1241$$

$$\beta = 0.1835$$

$$\gamma = 0.389772$$

Weibull Distribution



$$Y = Ax + B$$

$$A = 3.135$$

$$B = 0.6307$$

$$\beta = 0.318979$$


$$\gamma = -0.20118$$

GUMBEL DISTRIBUTION

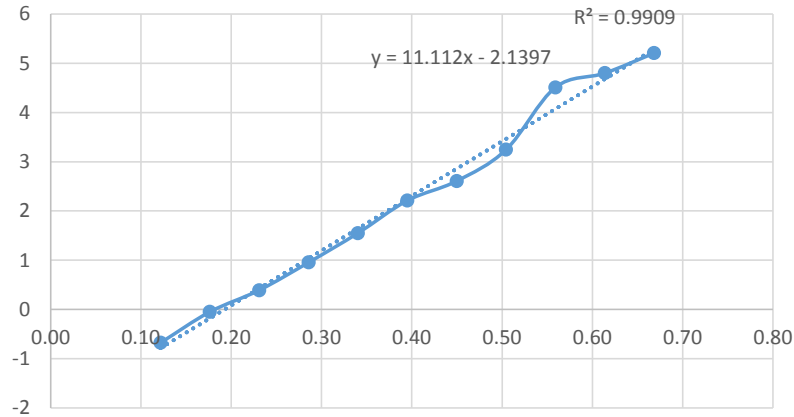
					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.183	0.390	2.277	2.445	2.572	2.700	

WEIBULL DISTRIBUTION

					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.319	-0.201	1.715	1.845	1.941	2.037	

 Thesis		Nama :		Muhamad Fyan									
		NRP :		4316203003									
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia											
Data of Significant Wave Height V													
Hs (m)	Tp(s)												
	2.84	3.34	3.85	4.35	4.86	5.36	5.87	6.37	6.88	7.38	7.89	8.39	Jumlah
	0.12		12	20	40	36	52	24	4	4	4	8	204
	0.18	8	24	84	48	56	40	28	12		4	4	308
	0.23	4	20	16	52	56	40	24	20				232
	0.29		12	44	48	60	40	32	8	4			252
	0.34	4	12	8	72	40	16	28	4		4		188
	0.40		4	24	24	44	28	4					128
	0.45			11	20	9	8						48
	0.50			8	32	4	4						48
	0.56			4	12	20		4					40
	0.61					4							4
	0.67						4						4
	0.72					4	4						8
	Grand	8	56	140	311	352	257	200	88	20	8	12	12
No.	P	Q	Hs	ln H	Gumbel	Weibul	λ = Number of data/year λ = 1464						
1	0.139344	0.860656	0.12	-2.10647	-0.67844	0.232466							
2	0.349727	0.650273	0.18	-1.73538	-0.04936	0.522798							
3	0.508197	0.491803	0.23	-1.46534	0.390251	0.768124							
4	0.680328	0.319672	0.29	-1.25293	0.954043	1.106388							
5	0.808743	0.191257	0.34	-1.07783	1.549878	1.47276							
6	0.896175	0.103825	0.40	-0.92887	2.210738	1.875583							
7	0.928962	0.071038	0.45	-0.79925	2.607919	2.112926							
8	0.961749	0.038251	0.50	-0.68452	3.244138	2.483985							
9	0.989071	0.010929	0.56	-0.58161	4.510849	3.189201							
10	0.991803	0.008197	0.61	-0.4883	4.799909	3.344348							
11	0.994536	0.005464	0.67	-0.40297	5.206748	3.559432							
12	1	0	0.72	-0.32435									

Gumbel Distribution



$$Y = Ax + B$$

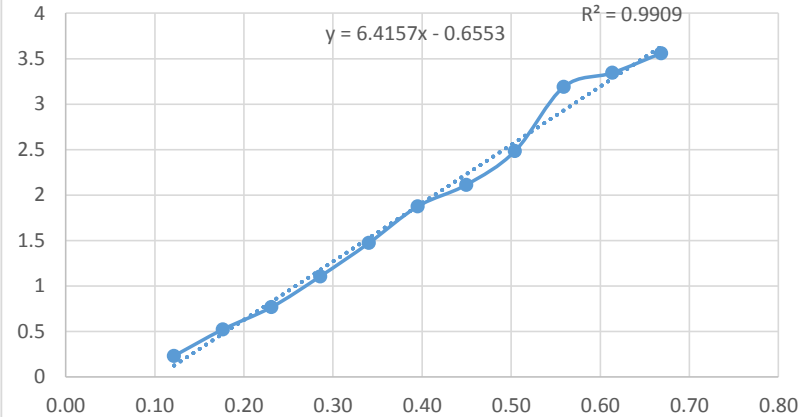
$$A = 11.112$$

$$B = -2.1397$$

$$\beta = 0.089993$$

$$\gamma = 0.192558$$

Weibull Distribution



$$Y = Ax + B$$

$$A = 6.4157$$

$$B = -0.6307$$

$$\beta = 0.155868$$


$$\gamma = 0.098306$$

GUMBEL DISTRIBUTION

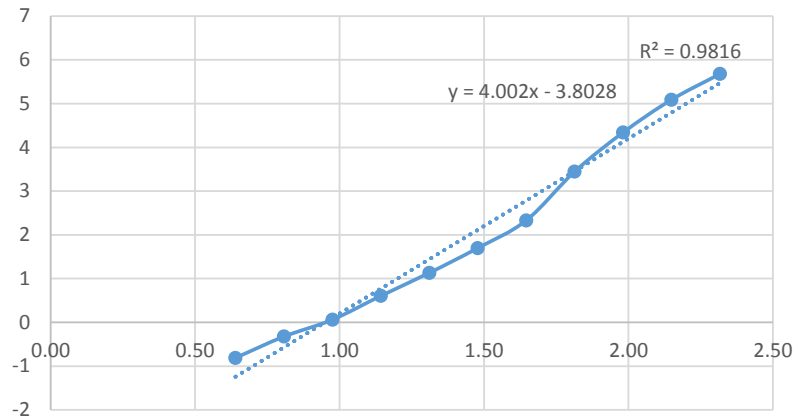
					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.090	0.193	1.118	1.201	1.263	1.325	

WEIBULL DISTRIBUTION

					RETURN PERIOD (yrs)				H _{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.156	0.098	1.034	1.098	1.145	1.192	

 Thesis		Nama :		Muhamad Fyan										
		NRP :		4316203003										
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia												
Data of Significant Wave Height VI														
Hs (m)	Tp(s)													
	5.33	5.89	6.45	7.01	7.58	8.14	8.70	9.26	9.83	10.39	10.95	11.51	Jumlah	
	0.64	11	25	29	66	14	9						154	
	0.81	15	24	33	45	44	41	11					213	
	0.98	18	44	36	15	29	47	5	10				204	
	1.14	17	48	49	35	29	39	29	27		4		277	
	1.31	11	21	20	29	33	47	24	21	1	1		4	212
	1.48	1	4	14	30	49	22	19	9	3	4	4		159
	1.65		4	6	8	30	15	20	13	10	3			109
	1.81				13	23	25	6	15	4			4	90
	1.98			4	9	5		1	4				4	27
	2.15				3		4		3					10
	2.32							3	1					4
	2.48						4	1						5
	Grand	73	170	191	253	256	253	119	103	18	12	4	12	1464
No.	P	Q	Hs	ln H	Gumbel	Weibul	λ = Number of data/year λ = 1464							
1	0.105191	0.894809	0.64	-0.44681	-0.81181	0.184531								
2	0.250683	0.749317	0.81	-0.21402	-0.32466	0.384446								
3	0.390027	0.609973	0.98	-0.02532	0.06024	0.581615								
4	0.579235	0.420765	1.14	0.133365	0.60505	0.894981								
5	0.724044	0.275956	1.31	0.270282	1.130402	1.214575								
6	0.83265	0.16735	1.48	0.39069	1.697496	1.563389								
7	0.907104	0.092896	1.65	0.498146	2.32792	1.946037								
8	0.968579	0.031421	1.81	0.595167	3.444366	2.598373								
9	0.987022	0.012978	1.98	0.683602	4.337964	3.095438								
10	0.993852	0.006148	2.15	0.764847	5.088621	3.497364								
11	0.996585	0.003415	2.32	0.839985	5.67778	3.803978								
12	1	0	2.48	0.90987										

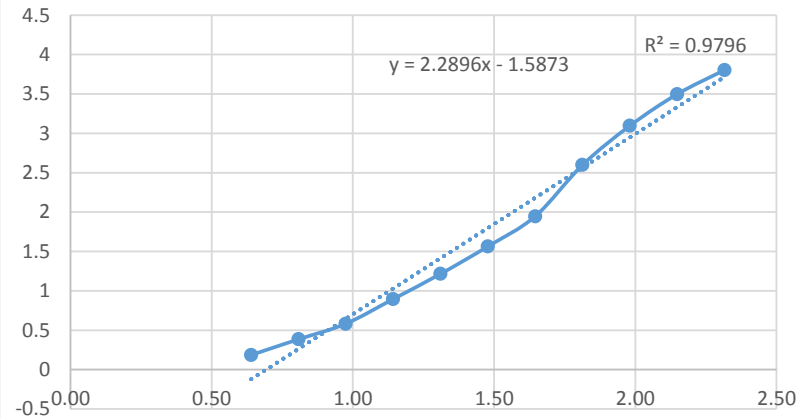
Gumbel Distribution



$Y = Ax+B$

A = 4.002
B = -3.8028
 β = 0.249875
 γ = 0.950225

Weibull Distribution



$Y = Ax+B$


A = 2.2896
B = -1.5873
 β = 0.436758
 γ = 0.693265

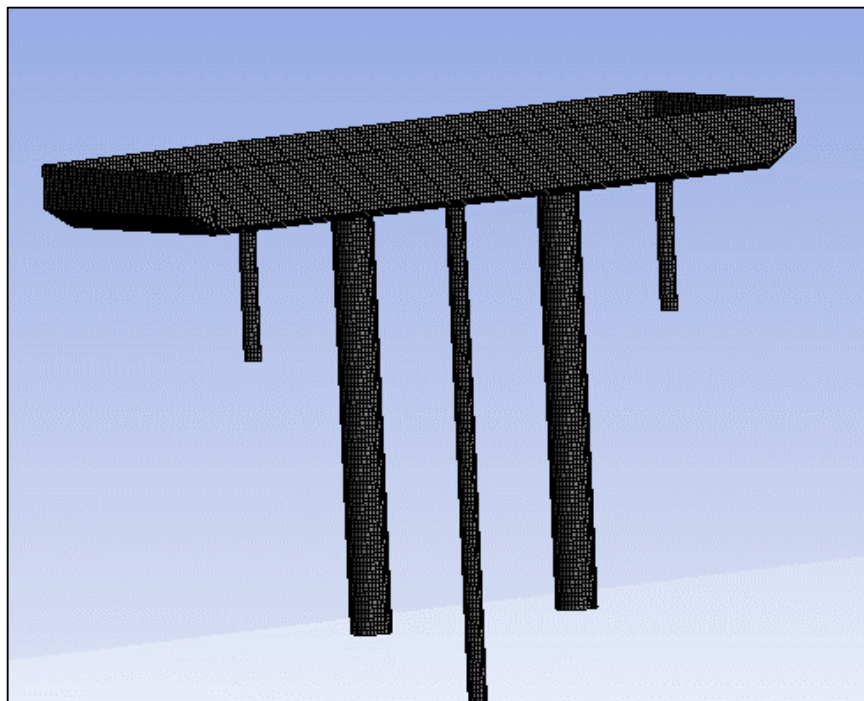
GUMBEL DISTRIBUTION

					RETURN PERIOD (yrs)				H_{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.250	0.950	3.520	3.749	3.922	4.095	

WEIBULL DISTRIBUTION

					RETURN PERIOD (yrs)				H_{Tr}
N	λ	α	β	γ	20.000	50.000	100.000	200.000	
1,464	1,464.000	1.300	0.437	0.693	3.317	3.495	3.627	3.758	

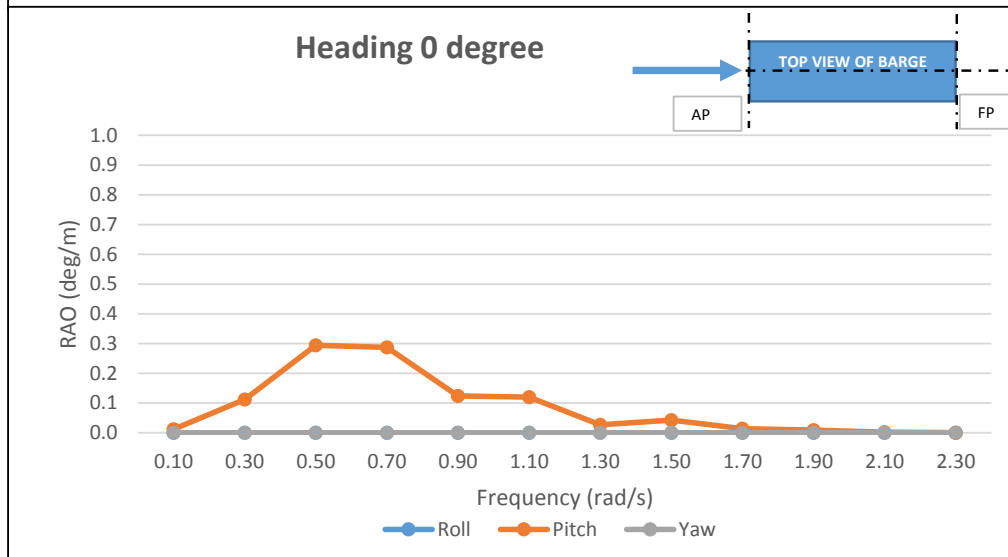
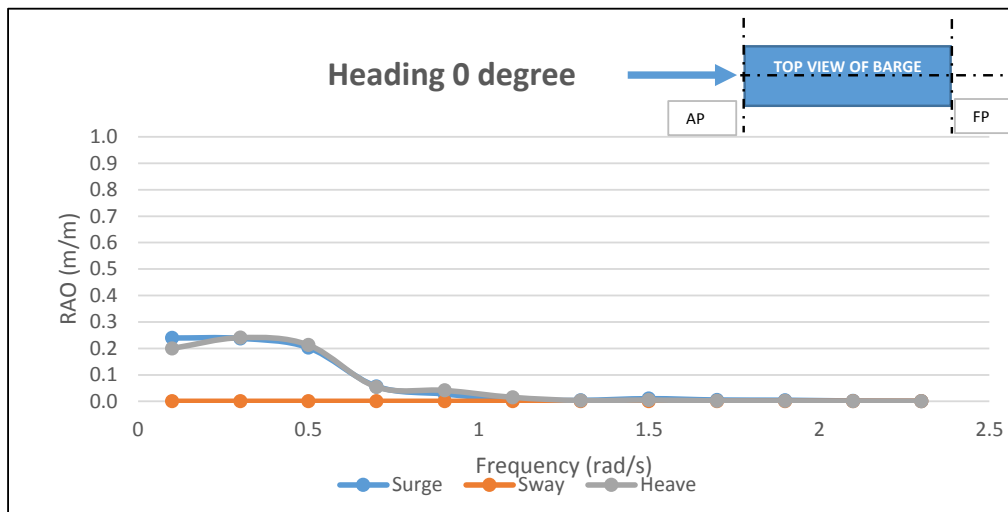
 <div>Thesis</div>	Nama :	Muhamad Fyan
	NRP :	4316203003
Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
Analisis RAO 5mW (Floating)		



OTEC BARGE 5mW					
Model			Mesh		
L	110	m	Max. Element Size (m)	1.8	
B	30	m	Max. Allowed Frequency (rad/s)	2.858	
H	9	m	Number of Nodes	5625	
T	5	m	Number of Elements	5481	
Cb	0.968		Number of Diff. Nodes	4541	
LCG	57.71	m From AP	Number of Diff. Elements	4409	
KG	-28.2	m	Weight		
LCB	55	m	Lightweight (LWT)	5509.26	ton
KB	2.4777	m	Deadweight (DWT)	10757.61	ton
Kxx	12	m	LWT+DWT	16266.87	ton
Kyy	27.5	m	-	-	-

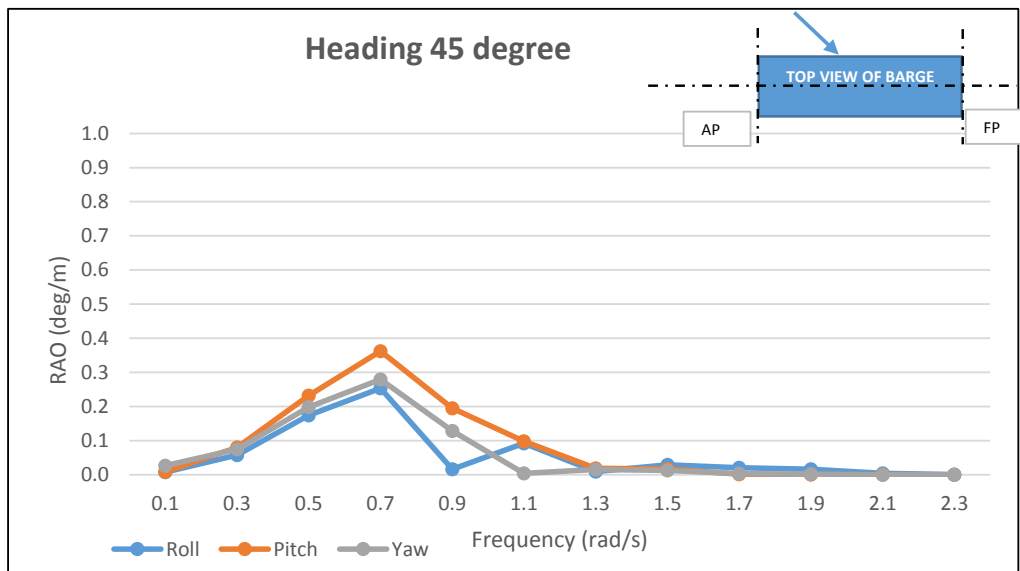
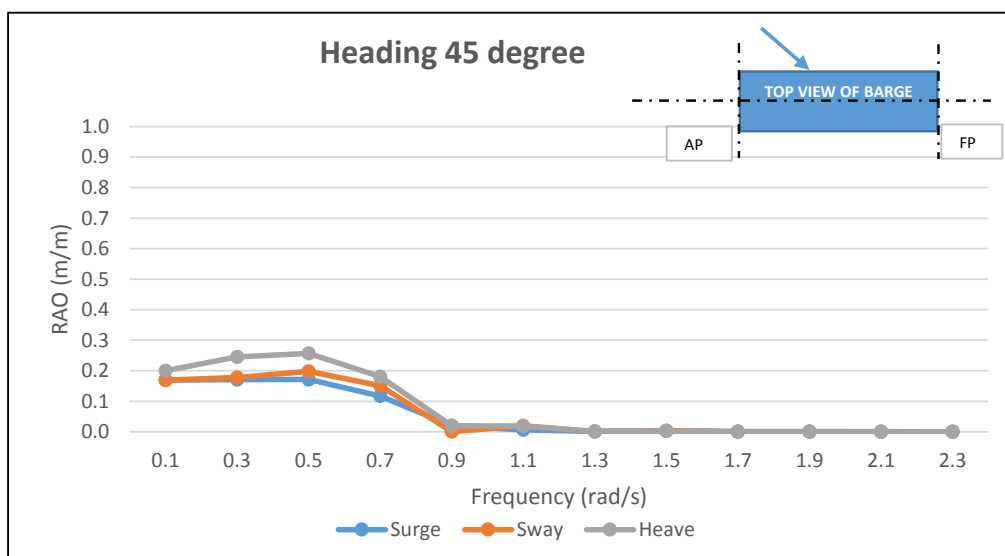
I. Heading 0 Degree

Frequency(rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.239381	0.00000126	0.199869	0.000000	0.012322	0.000003
0.3	0.237699	0.00000008	0.240499	0.000000	0.111510	0.000000
0.5	0.202792	0.00000005	0.213108	0.000000	0.294037	0.000001
0.7	0.056394	0.00000172	0.054052	0.000004	0.287478	0.000003
0.9	0.027540	0.00000138	0.041319	0.000005	0.123578	0.000003
1.1	0.005562	0.00000129	0.014914	0.000006	0.119770	0.000004
1.3	0.003527	0.00000036	0.002725	0.000003	0.026579	0.000001
1.5	0.009977	0.00000091	0.004803	0.000008	0.042464	0.000004
1.7	0.004881	0.00000033	0.001501	0.000006	0.013541	0.000001
1.9	0.004167	0.00000032	0.001002	0.000016	0.009181	0.000002
2.1	0.001260	0.00000013	0.000200	0.000009	0.002388	0.000002
2.3	0.000298	0.00000027	0.000036	0.000007	0.000495	0.000002



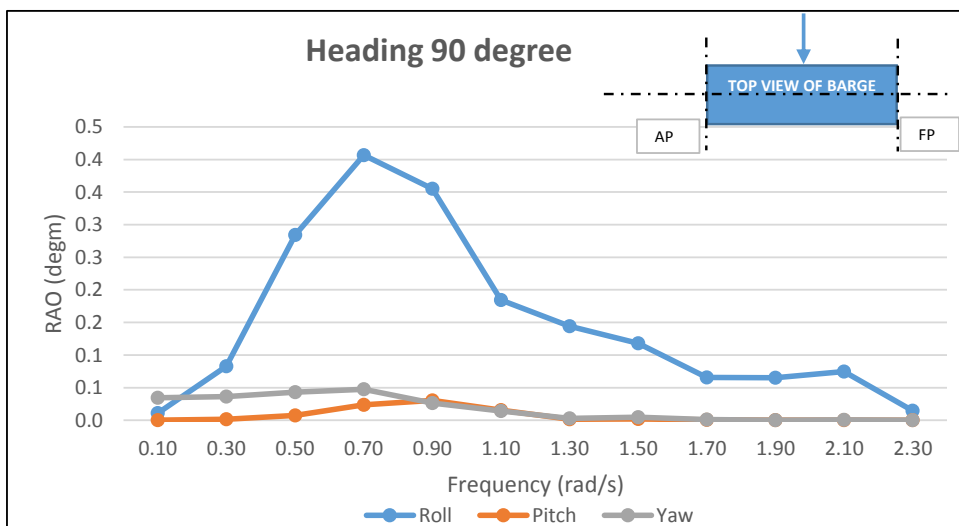
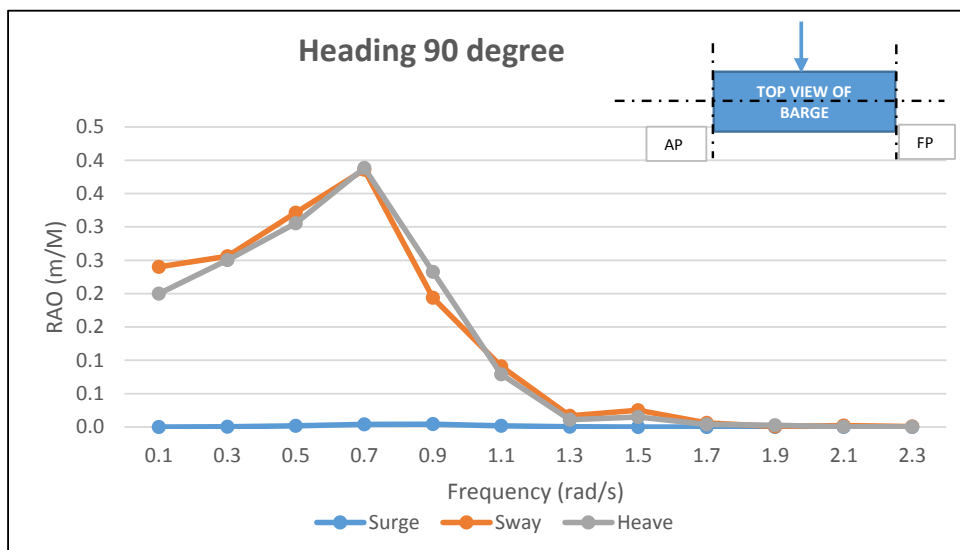
II. Heading 45 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.169330	0.169693	0.199935	0.007682	0.008715	0.026167
0.3	0.171624	0.177878	0.245341	0.057747	0.079871	0.074756
0.5	0.171628	0.198176	0.256934	0.174408	0.232277	0.198501
0.7	0.116804	0.150981	0.181252	0.253363	0.362291	0.279247
0.9	0.019750	0.000714	0.019890	0.016302	0.195035	0.128114
1.1	0.006137	0.019921	0.019157	0.092280	0.097825	0.003823
1.3	0.001428	0.000825	0.001610	0.009089	0.018449	0.015747
1.5	0.003527	0.003621	0.002867	0.029522	0.017230	0.013212
1.7	0.000442	0.000841	0.000306	0.020650	0.001801	0.003657
1.9	0.000716	0.000235	0.000030	0.016224	0.001137	0.001620
2.1	0.000312	0.000125	0.000012	0.004209	0.000493	0.000092
2.3	0.000031	0.000026	0.000008	0.000567	0.000057	0.000031



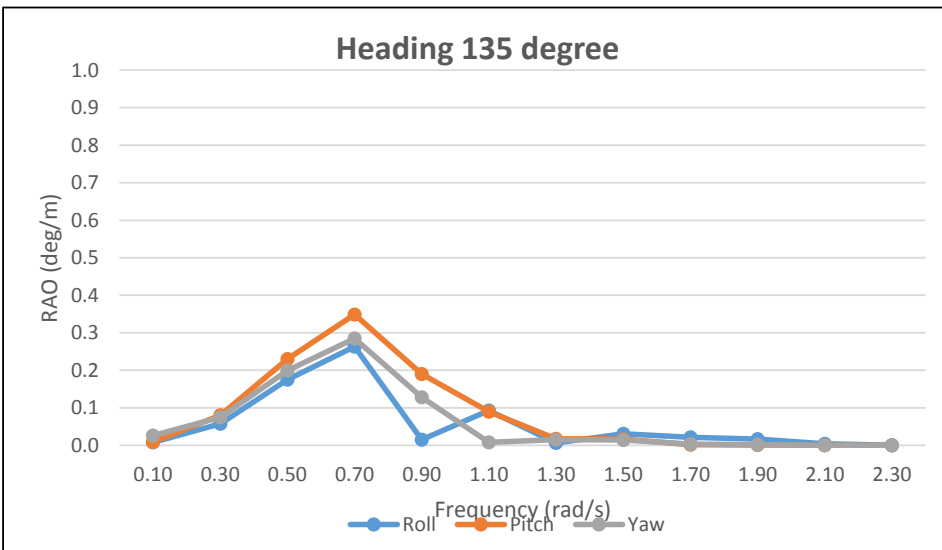
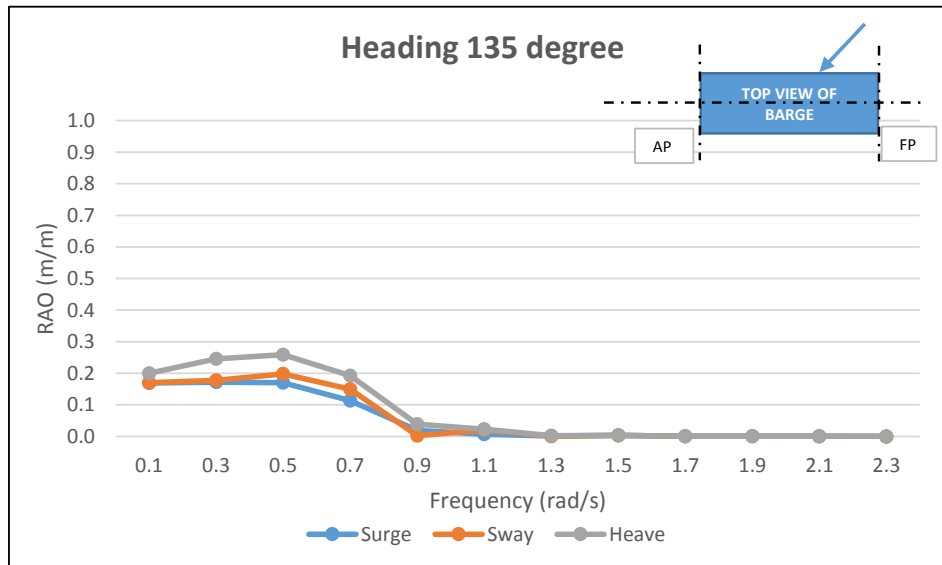
III. Heading 90 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.000020	0.240054	0.200003	0.010827	0.000119	0.034576
0.3	0.000284	0.255982	0.250246	0.082850	0.001524	0.036241
0.5	0.001500	0.321361	0.305551	0.284115	0.007196	0.043061
0.7	0.003941	0.385904	0.388574	0.406726	0.023566	0.047426
0.9	0.004150	0.193996	0.232517	0.355217	0.030391	0.026495
1.1	0.001850	0.091068	0.078873	0.184589	0.015263	0.013953
1.3	0.000160	0.016861	0.010749	0.144417	0.001653	0.002870
1.5	0.000129	0.025155	0.014905	0.118217	0.001815	0.004611
1.7	0.000024	0.006010	0.004091	0.065478	0.000404	0.001141
1.9	0.000011	0.000983	0.002489	0.065369	0.000206	0.000199
2.1	0.000002	0.002015	0.000431	0.074541	0.000033	0.000393
2.3	0.000001	0.000661	0.000163	0.014487	0.000012	0.000131



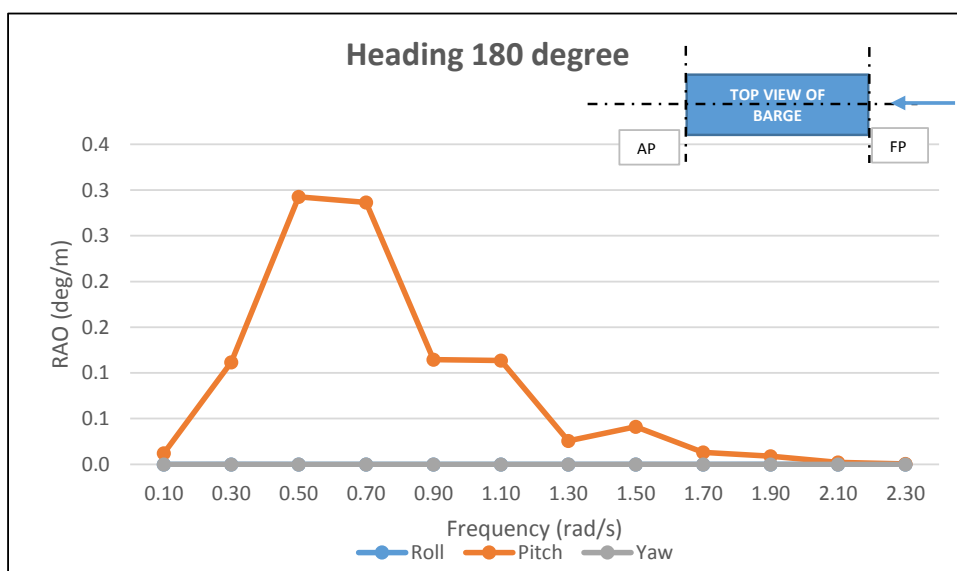
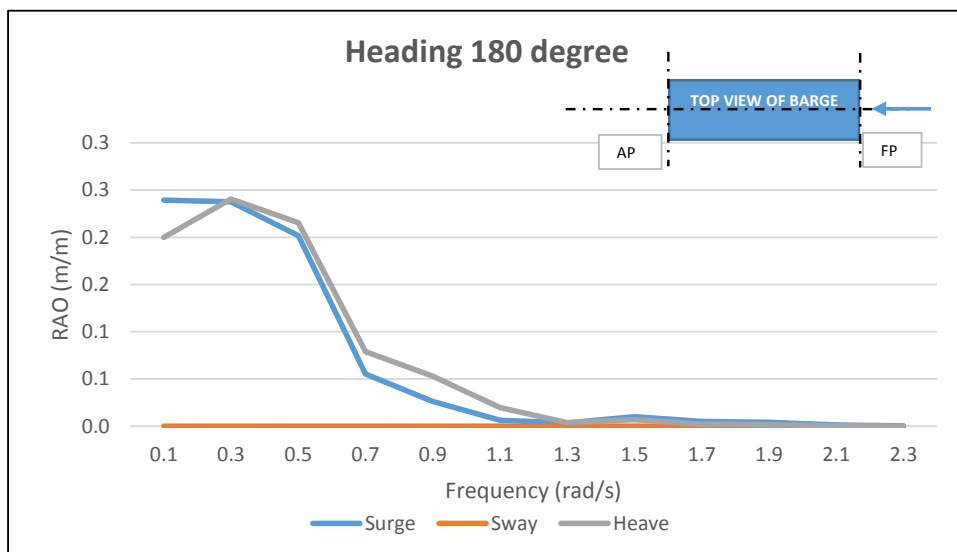
IV. Heading 135 Degree


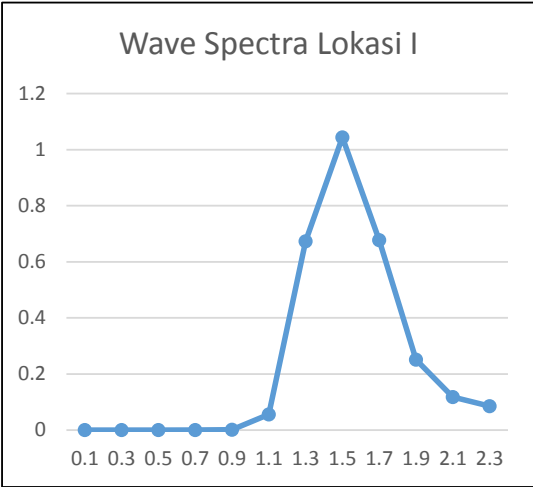
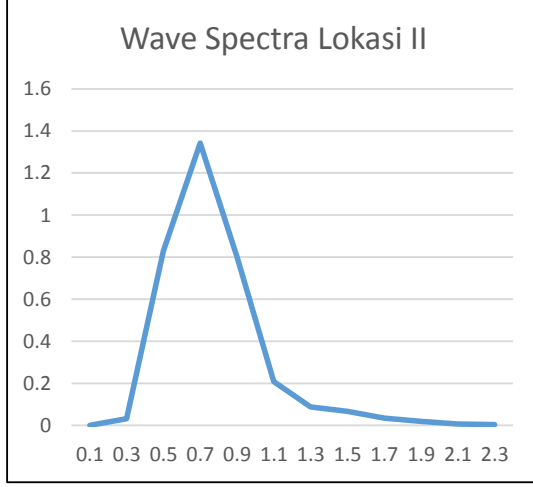
Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.169330	0.169693	0.199937	0.007682	0.008715	0.026166
0.3	0.171593	0.177874	0.245383	0.057749	0.079856	0.074768
0.5	0.170369	0.197938	0.258846	0.174851	0.230436	0.199112
0.7	0.113160	0.149227	0.192945	0.263099	0.348801	0.284767
0.9	0.018786	0.002581	0.039141	0.015166	0.190011	0.128073
1.1	0.006906	0.019852	0.022839	0.092972	0.089904	0.007830
1.3	0.001448	0.000964	0.002368	0.006833	0.017835	0.015448
1.5	0.003566	0.003421	0.003691	0.030850	0.016431	0.014108
1.7	0.000444	0.000867	0.000406	0.021221	0.001738	0.003657
1.9	0.000719	0.000259	0.000096	0.016552	0.001127	0.001508
2.1	0.000312	0.000126	0.000040	0.004229	0.000491	0.000040
2.3	0.000032	0.000025	0.000012	0.000563	0.000055	0.000042

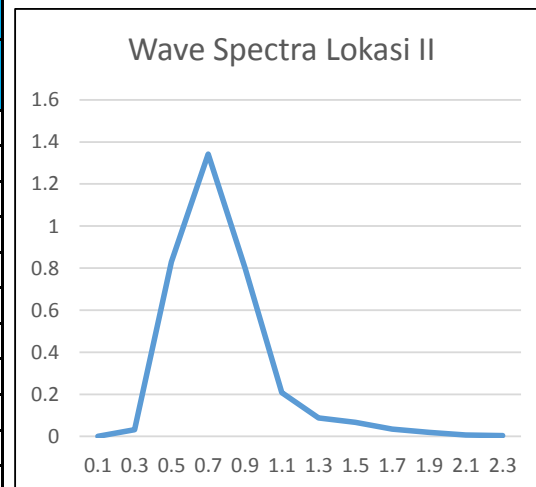
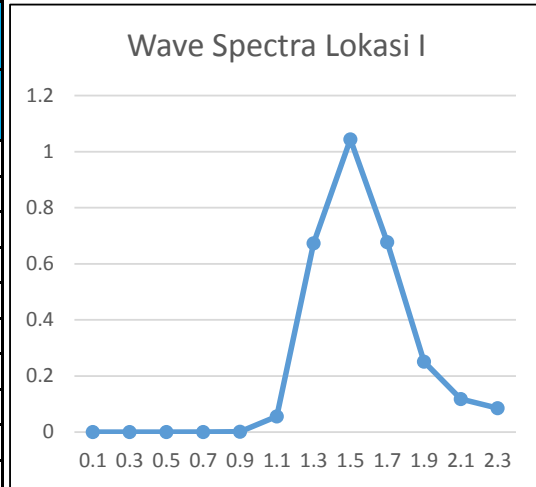


IV. Heading 180 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.239381	0.00000122	0.199868	0.000000	0.012322	0.000004
0.3	0.237669	0.00000007	0.240559	0.000000	0.111496	0.000000
0.5	0.201750	0.00000013	0.215597	0.000000	0.292531	0.000001
0.7	0.055324	0.00000130	0.079034	0.000003	0.286318	0.000004
0.9	0.026329	0.00000168	0.052908	0.000005	0.114690	0.000002
1.1	0.006313	0.00000097	0.019575	0.000003	0.113430	0.000003
1.3	0.003595	0.00000016	0.003839	0.000002	0.025567	0.000001
1.5	0.010040	0.00000027	0.006993	0.000007	0.040997	0.000008
1.7	0.004896	0.00000040	0.002253	0.000014	0.013165	0.000004
1.9	0.004178	0.00000038	0.001546	0.000025	0.008963	0.000007
2.1	0.001263	0.00000036	0.000346	0.000013	0.002345	0.000004
2.3	0.000299	0.00000014	0.000067	0.000003	0.000488	0.000001

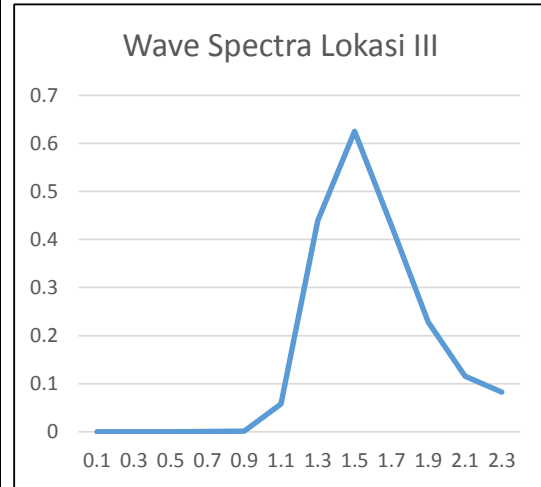


	Thesis			Nama :	Muhamad Fyan										
				NRP :	4316203003										
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember			Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia											
	Wave Spectra & Respon Spectra (5 mW)														
<div>I. Wave Spectra</div>															
<div>Lokasi I</div>															
1	2	Interpolasi	Hasil Interpolasi	<div>Wave Spectra Lokasi I</div> 											
Frequency(rad/s)	Wave Spectra	Frequency (rad/s)	Wave Spectra (m²/rad/s)												
0.087	0.000000000	0.1	0												
0.386	0.000000000	0.3	0.000000000												
0.684	0.000000002	0.5	0.000000001												
0.798	0.000756160	0.7	0.000663581												
0.888	0.001458569	0.9	0.001477647												
0.979	0.027699016	1.1	0.055805639												
1.046	0.053041738	1.3	0.672957769												
1.183	0.223864377	1.5	1.044186357												
1.321	0.683642268	1.7	0.676901604												
1.424	0.991580248	1.9	0.251141709												
1.644	0.654424489	2.1	0.117604456												
1.863	0.246208757	2.3	0.085065558												
1.97	0.194631755														
2.11	0.118423767														
2.26	0.083600581														
<div>Lokasi II</div>							<div>Data Lingkungan Lokasi I</div> <table><tr><td>H_{extreme}</td><td>2.62341931</td><td>m</td></tr><tr><td>Frekuensi Puncak</td><td>1.46</td><td>rad/s</td></tr><tr><td>Kecepatan Angin</td><td>10</td><td>knot</td></tr></table>			H _{extreme}	2.62341931	m	Frekuensi Puncak	1.46	rad/s
H _{extreme}	2.62341931	m													
Frekuensi Puncak	1.46	rad/s													
Kecepatan Angin	10	knot													
1	2	Interpolasi	Hasil Interpolasi	<div>Wave Spectra Lokasi II</div> 											
Frequency(r ad/s)	Wave Spectra	Frequency (rad/s)	Wave Spectra (m²/rad/s)												
0.087	0.000000000	0.1	0												
0.386	0.040175401	0.3	0.031254364												
0.684	1.134485483	0.5	0.828890232												
0.798	1.529568195	0.7	1.342298394												
0.888	0.791056991	0.9	0.801404007												
0.979	0.239323214	1.1	0.208133304												
1.046	0.197825029	1.3	0.087935915												
1.183	0.125926405	1.5	0.066825907												
1.321	0.089332066	1.7	0.034185573												
1.424	0.063459218	1.9	0.018663940												
1.644	0.033050410	2.1	0.006911756												
1.863	0.018297341	2.3	0.004076827												
1.97	0.012800980														
2.11	0.006959908														
2.26	0.004006617														
							<div>Data Lingkungan Lokasi II</div> <table><tr><td>H_{extreme}</td><td>4.99756838</td><td>m</td></tr><tr><td>Frekuensi Puncak</td><td>0.66</td><td>rad/s</td></tr><tr><td>Kecepatan Angin</td><td>22</td><td>knot</td></tr></table>			H _{extreme}	4.99756838	m	Frekuensi Puncak	0.66	rad/s
H _{extreme}	4.99756838	m													
Frekuensi Puncak	0.66	rad/s													
Kecepatan Angin	22	knot													



Lokasi III

1	2	Interpolasi	Hasil Interpolasi
Frequency(rad/s)	Wave Spectra	Frequency (rad/s)	Wave Spectra (m ² /rad/s)
0.087	0.000000000	0.1	0
0.386	0.000000000	0.3	0.000000000
0.684	0.000000002	0.5	0.000000001
0.798	0.000783425	0.7	0.000687508
0.888	0.001511180	0.9	0.001530946
0.979	0.028665131	1.1	0.057750323
1.046	0.054890107	1.3	0.439395368
1.183	0.198988974	1.5	0.625557030
1.321	0.446371615	1.7	0.429651056
1.424	0.594041467	1.9	0.228108379
1.644	0.415384114	2.1	0.115858928
1.863	0.223627850	2.3	0.082288366
1.97	0.180262491		
2.11	0.116666079		
2.26	0.080871217		

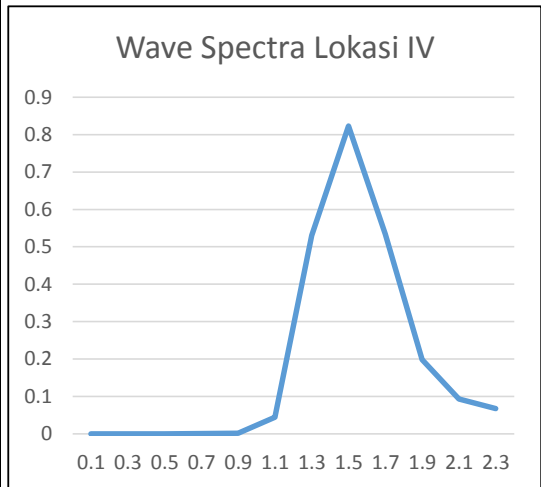


Data Lingkungan Lokasi III

H _{extreme}	2.32942995	m
Frekuensi Puncak	1.46	rad/s
Kecepatan Angin	10.5	knot

Lokasi IV

1	2	Interpolasi	Hasil Interpolasi
Frequency(rad/s)	Wave Spectra	Frequency (rad/s)	Wave Spectra (m ² /rad/s)
0.087	0.000000000	0.1	0
0.386	0.000000000	0.3	0.000000000
0.684	0.000000001	0.5	0.000000001
0.798	0.000596374	0.7	0.000523358
0.888	0.001150353	0.9	0.001165400
0.979	0.021845942	1.1	0.044013179
1.046	0.041833326	1.3	0.530752313
1.183	0.176558673	1.5	0.823533931
1.321	0.539179027	1.7	0.533860375
1.424	0.782044291	1.9	0.198071324
1.644	0.516133070	2.1	0.092752685
1.863	0.194180787	2.3	0.067089793
1.97	0.153502852		
2.11	0.093398862		
2.26	0.065934390		

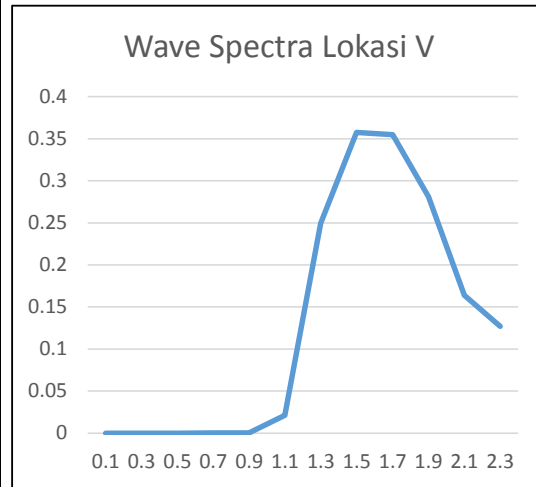


Data Lingkungan Lokasi IV

H _{extreme}	2.57233457	m
Frekuensi Puncak	1.22	rad/s
Kecepatan Angin	12	knot

Lokasi V

1	2	Interpolasi	Hasil Interpolasi
Frequency(rad/s)	Wave Spectra	Frequency (rad/s)	Wave Spectra (m ² /rad/s)
0.087	0.000000000	0.1	0
0.386	0.000000000	0.3	0.000000000
0.684	0.000000000	0.5	0.000000000
0.798	0.000041635	0.7	0.000036537
0.888	0.000080309	0.9	0.000081359
0.979	0.010299465	1.1	0.021250606
1.046	0.020198122	1.3	0.249408185
1.183	0.113634616	1.5	0.357597427
1.321	0.253368020	1.7	0.354975193
1.424	0.339581668	1.9	0.280975133
1.644	0.343187928	2.1	0.163992130
1.863	0.275456190	2.3	0.126978017
1.97	0.218969777		
2.11	0.165134609		
2.26	0.124791235		

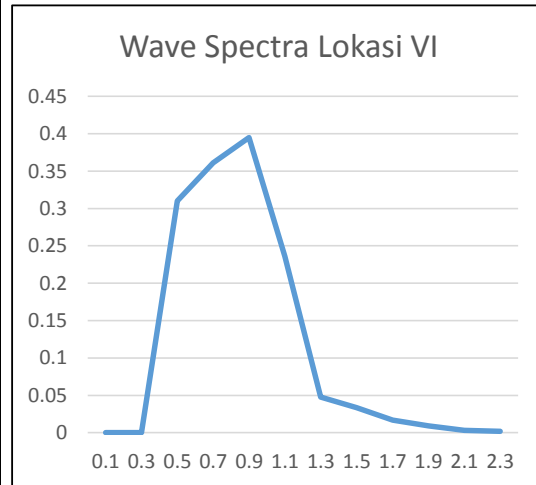


Data Lingkungan Lokasi V

H _{extreme}	1.26294047	m
Frekuensi Puncak	1.59	rad/s
Kecepatan Angin	9.2	knot

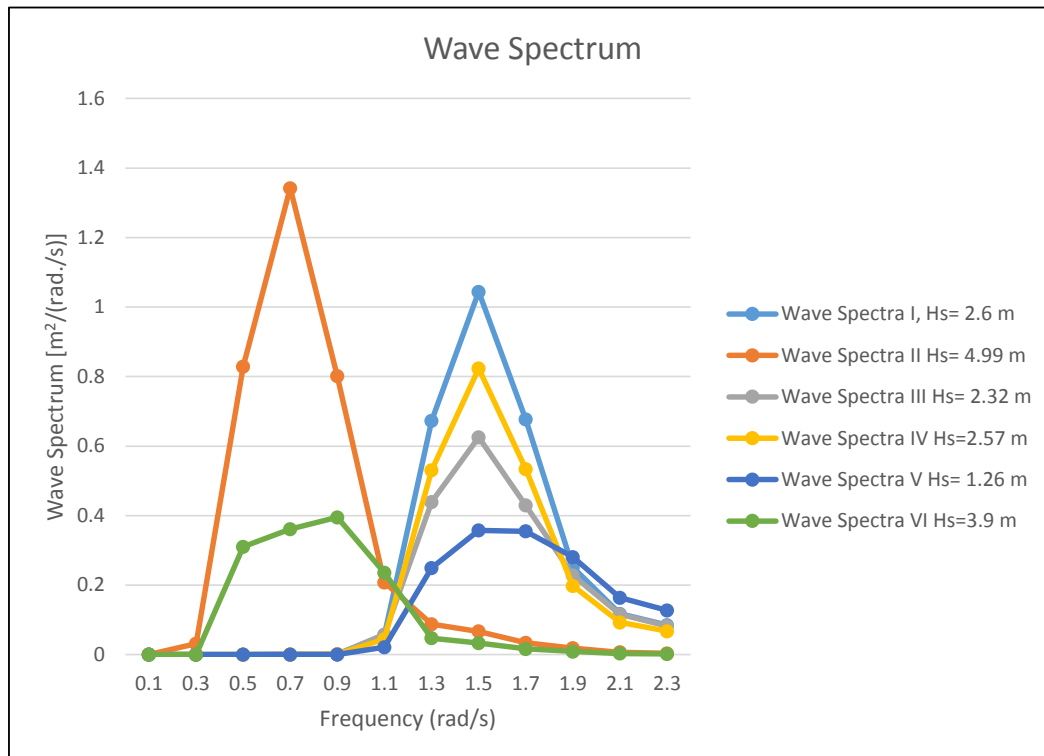
Lokasi VI

1	2	Interpolasi	Hasil Interpolasi
Frequency(rad/s)	Wave Spectra	Frequency (rad/s)	Wave Spectra (m ² /rad/s)
0.087	0.000000000	0.1	0
0.386	0.000000993	0.3	0.000000772
0.684	0.424461603	0.5	0.310124794
0.798	0.411564052	0.7	0.361174982
0.888	0.389631927	0.9	0.394728308
0.979	0.313037902	1.1	0.236121075
1.046	0.224426642	1.3	0.047527144
1.183	0.100954756	1.5	0.033599398
1.321	0.048281729	1.7	0.016800591
1.424	0.031906661	1.9	0.009056756
1.644	0.016242713	2.1	0.003291441
1.863	0.008878862	2.3	0.001927983
1.97	0.006149854		
2.11	0.003314371		
2.26	0.001894780		



Data Lingkungan Lokasi VI

H _{extreme}	3.92226249	m
Frekuensi Puncak	0.58	rad/s
Kecepatan Angin	25	knot



II. Respon Spektra Heading 0 Degree

Lokasi I-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	4.614E-11	3.2519E-24	5.0957E-11	2.08E-23	9.701E-11	4.38881E-22
0.7	2.11E-06	1.9676E-15	1.9387E-06	9.75E-15	5.484E-05	7.8818E-15
0.9	1.121E-06	2.8051E-15	2.5228E-06	3.4E-14	2.257E-05	1.01239E-14
1.1	1.726E-06	9.3479E-14	1.2413E-05	2.01E-12	0.0008005	7.1849E-13
1.3	8.372E-06	8.853E-14	4.9987E-06	4.27E-12	0.0004754	3.83472E-13
1.5	0.0001039	8.5759E-13	2.4088E-05	7.32E-11	0.0018829	1.37067E-11
1.7	1.613E-05	7.5553E-14	1.5248E-06	2.17E-11	0.0001241	1.11852E-12
1.9	4.36E-06	2.6132E-14	2.522E-07	6.71E-11	2.117E-05	1.4675E-12
2.1	1.868E-07	2.1332E-15	4.6865E-09	9.44E-12	6.708E-07	4.11466E-13
2.3	7.575E-09	6.2118E-15	1.0955E-10	3.7E-12	2.086E-08	3.09223E-13

Lokasi II-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0.0017659	1.7778E-16	0.00180774	9.86E-17	0.0003886	7.46479E-15
0.5	0.0340877	2.4023E-15	0.03764401	1.54E-14	0.0716642	3.24219E-13
0.7	0.0042689	3.98E-12	0.0039217	1.97E-11	0.1109323	1.59434E-11
0.9	0.0006078	1.5214E-12	0.00136824	1.84E-11	0.0122387	5.49073E-12
1.1	6.438E-06	3.4864E-13	4.6295E-05	7.49E-12	0.0029856	2.67969E-12
1.3	1.094E-06	1.1568E-14	6.5319E-07	5.59E-13	6.212E-05	5.01086E-14
1.5	6.652E-06	5.4884E-14	1.5416E-06	4.68E-12	0.0001205	8.77203E-13
1.7	8.144E-07	3.8156E-15	7.7008E-08	1.1E-12	6.268E-06	5.64885E-14
1.9	3.24E-07	1.942E-15	1.8743E-08	4.99E-12	1.573E-06	1.09059E-13
2.1	1.098E-08	1.2537E-16	2.7543E-10	5.55E-13	3.942E-08	2.41823E-14
2.3	3.63E-10	2.977E-16	5.2503E-12	1.77E-13	9.999E-10	1.48197E-14

Lokasi III-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	4.781E-11	3.3692E-24	5.2795E-11	2.16E-23	1.005E-10	4.54709E-22
0.7	2.186E-06	2.0385E-15	2.0086E-06	1.01E-14	5.682E-05	8.16599E-15
0.9	1.161E-06	2.9063E-15	2.6138E-06	3.52E-14	2.338E-05	1.04891E-14
1.1	1.786E-06	9.6736E-14	1.2845E-05	2.08E-12	0.0008284	7.43528E-13
1.3	5.466E-06	5.7804E-14	3.2638E-06	2.79E-12	0.0003104	2.50381E-13
1.5	6.227E-05	5.1377E-13	1.4431E-05	4.38E-11	0.001128	8.2115E-12
1.7	1.024E-05	4.7956E-14	9.6785E-07	1.38E-11	7.878E-05	7.09958E-13
1.9	3.96E-06	2.3735E-14	2.2907E-07	6.1E-11	1.923E-05	1.33291E-12
2.1	1.84E-07	2.1015E-15	4.617E-09	9.3E-12	6.608E-07	4.05359E-13
2.3	7.328E-09	6.009E-15	1.0597E-10	3.58E-12	2.018E-08	2.99128E-13

Lokasi IV-Heading 0

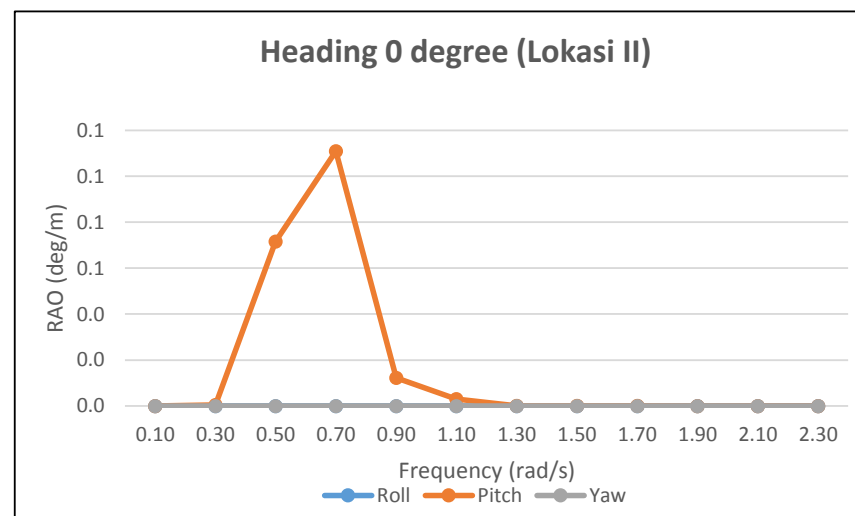
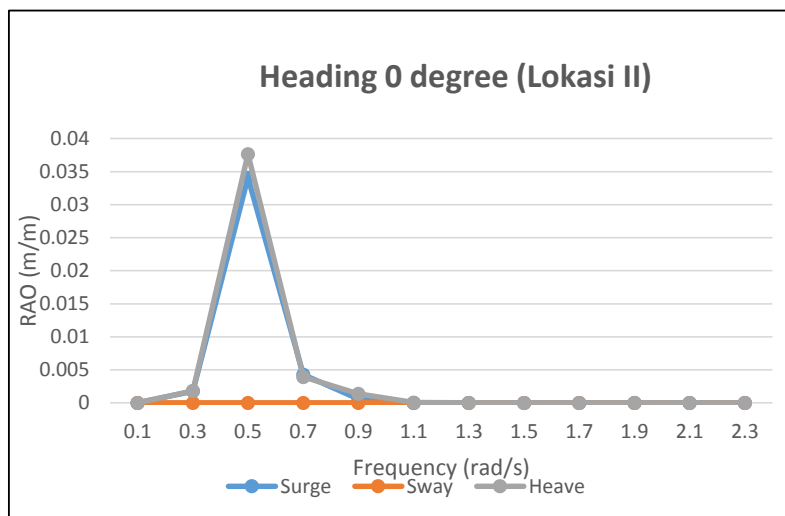
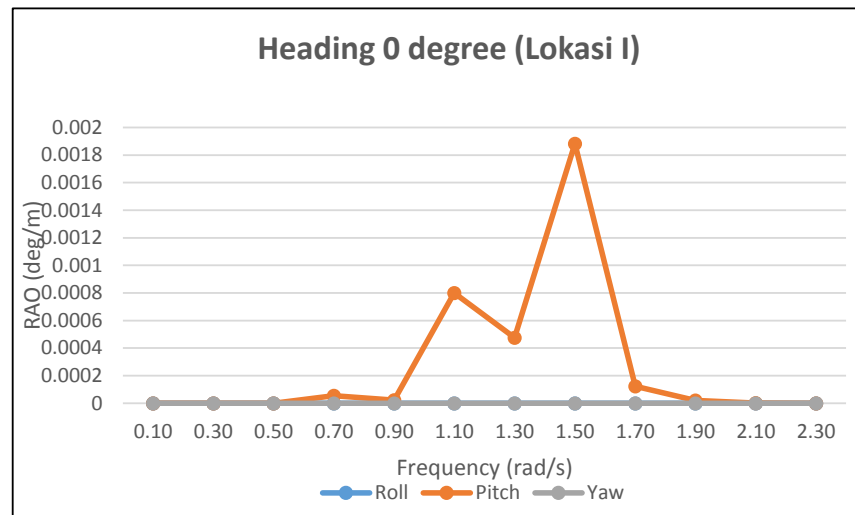
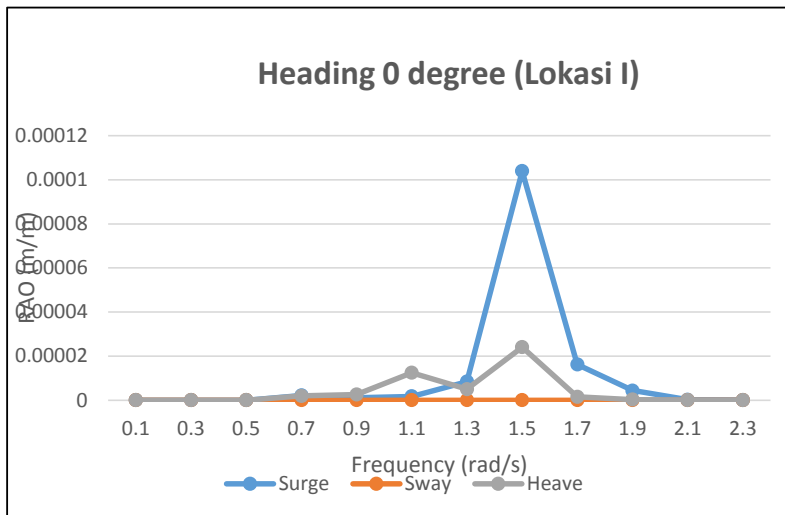
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	3.639E-11	2.5647E-24	4.0189E-11	1.64E-23	7.651E-11	3.46139E-22
0.7	1.664E-06	1.5518E-15	1.5291E-06	7.69E-15	4.325E-05	6.21627E-15
0.9	8.839E-07	2.2123E-15	1.9897E-06	2.68E-14	1.78E-05	7.98461E-15
1.1	1.361E-06	7.3726E-14	9.7898E-06	1.58E-12	0.0006314	5.66664E-13
1.3	6.603E-06	6.9823E-14	3.9424E-06	3.37E-12	0.0003749	3.02439E-13
1.5	8.198E-05	6.7637E-13	1.8998E-05	5.77E-11	0.001485	1.08103E-11
1.7	1.272E-05	5.9587E-14	1.2026E-06	1.71E-11	9.789E-05	8.82155E-13
1.9	3.439E-06	2.061E-14	1.9891E-07	5.29E-11	1.67E-05	1.15739E-12
2.1	1.473E-07	1.6824E-15	3.6962E-09	7.44E-12	5.29E-07	3.24516E-13
2.3	5.974E-09	4.8991E-15	8.64E-11	2.92E-12	1.645E-08	2.43879E-13

Lokasi V-Heading 0

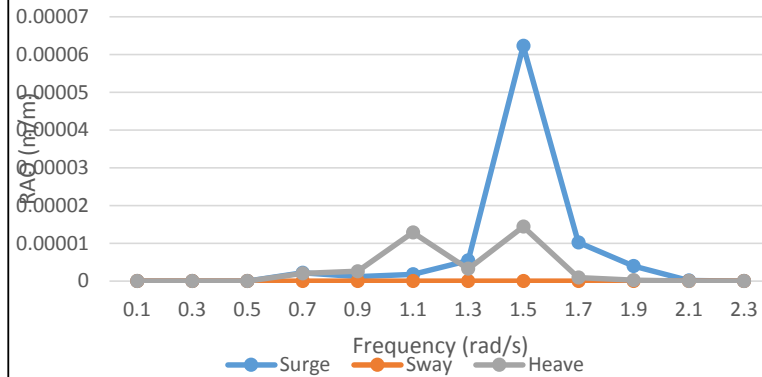
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	1.162E-07	1.0834E-16	1.0675E-07	5.37E-16	3.02E-06	4.33975E-16
0.9	6.171E-08	1.5445E-16	1.389E-07	1.87E-15	1.242E-06	5.57425E-16
1.1	6.574E-07	3.5596E-14	4.7267E-06	7.65E-13	0.0003048	2.73599E-13
1.3	3.103E-06	3.2811E-14	1.8526E-06	1.58E-12	0.0001762	1.42121E-13
1.5	3.56E-05	2.9369E-13	8.2493E-06	2.51E-11	0.0006448	4.69407E-12
1.7	8.456E-06	3.9621E-14	7.9963E-07	1.14E-11	6.509E-05	5.86563E-13
1.9	4.878E-06	2.9236E-14	2.8216E-07	7.51E-11	2.368E-05	1.64183E-12
2.1	2.605E-07	2.9746E-15	6.5351E-09	1.32E-11	9.354E-07	5.73764E-13
2.3	1.131E-08	9.2724E-15	1.6353E-10	5.52E-12	3.114E-08	4.6158E-13

Lokasi VI-Heading 0

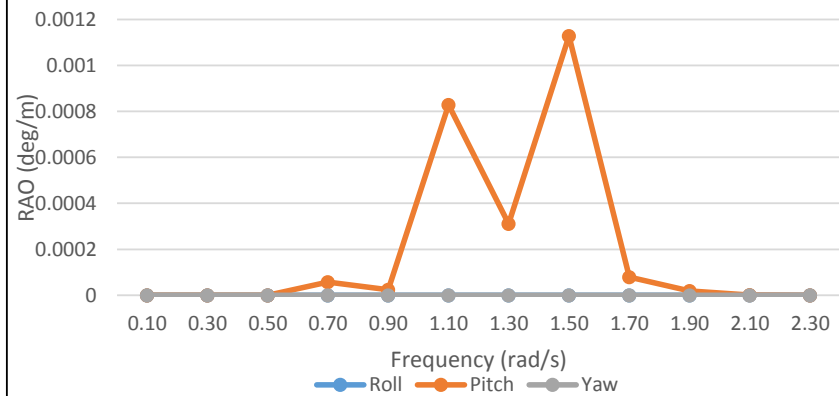
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	4.363E-08	4.3922E-21	4.4663E-08	2.44E-21	9.602E-09	1.84427E-19
0.5	0.0127537	8.9881E-16	0.0140843	5.75E-15	0.0268128	1.21305E-13
0.7	0.0011486	1.0709E-12	0.00105522	5.31E-12	0.0298488	4.28992E-12
0.9	0.0002994	7.4934E-13	0.00067392	9.07E-12	0.0060281	2.70444E-12
1.1	7.304E-06	3.9552E-13	5.252E-05	8.5E-12	0.0033871	3.04003E-12
1.3	5.912E-07	6.2524E-15	3.5303E-07	3.02E-13	3.357E-05	2.70824E-14
1.5	3.345E-06	2.7595E-14	7.7509E-07	2.35E-12	6.059E-05	4.41049E-13
1.7	4.002E-07	1.8752E-15	3.7846E-08	5.39E-13	3.081E-06	2.77614E-14
1.9	1.572E-07	9.4237E-16	9.095E-09	2.42E-12	7.634E-07	5.29215E-14
2.1	5.228E-09	5.9701E-17	1.3116E-10	2.64E-13	1.877E-08	1.15159E-14
2.3	1.717E-10	1.4079E-16	2.4829E-12	8.39E-14	4.729E-10	7.00844E-15



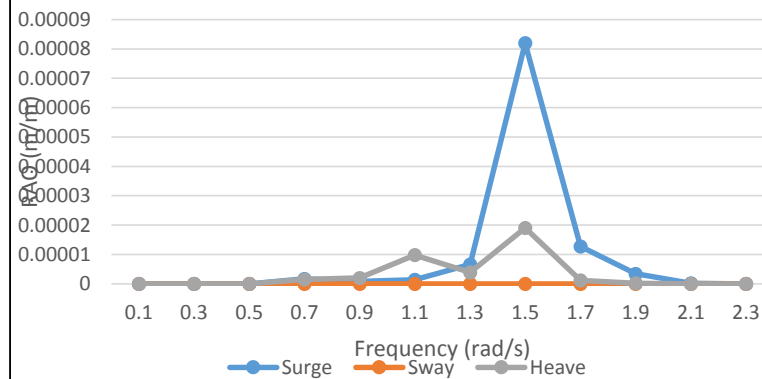
Heading 0 degree (Lokasi III)



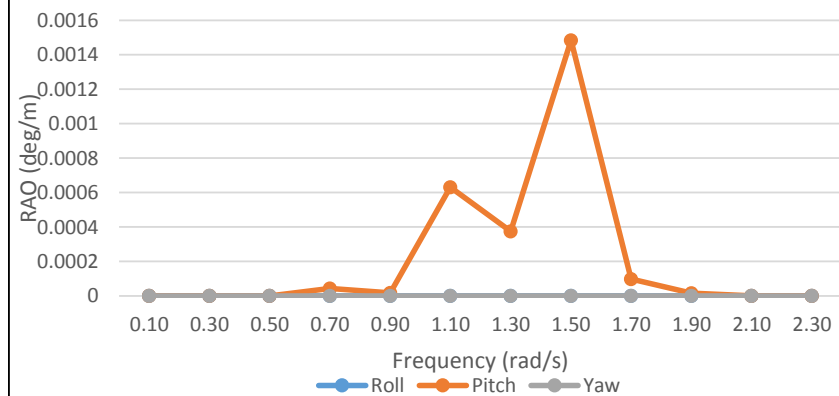
Heading 0 degree (Lokasi III)

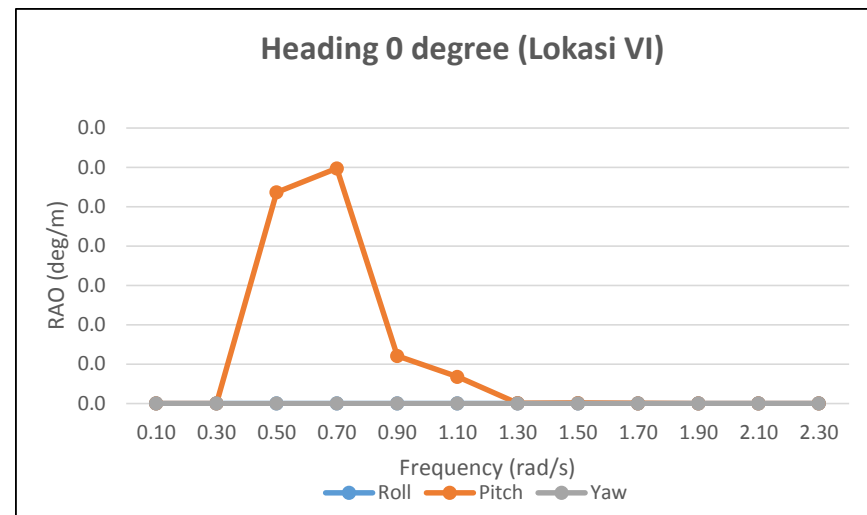
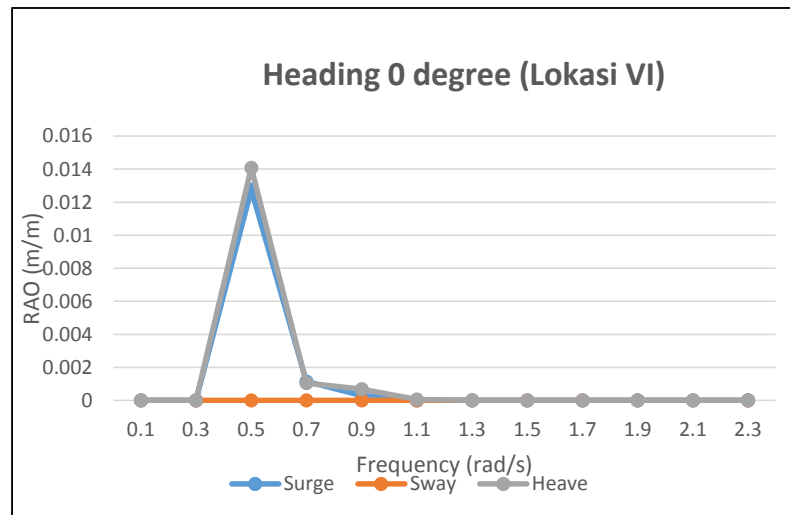
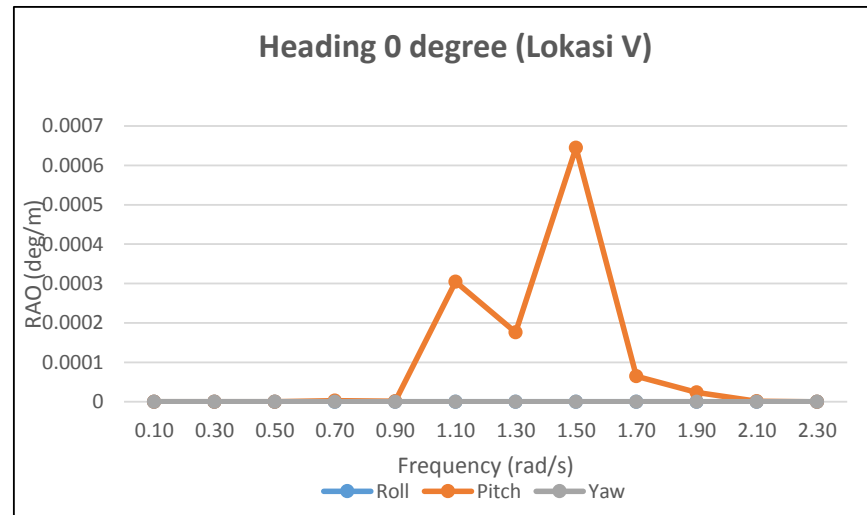
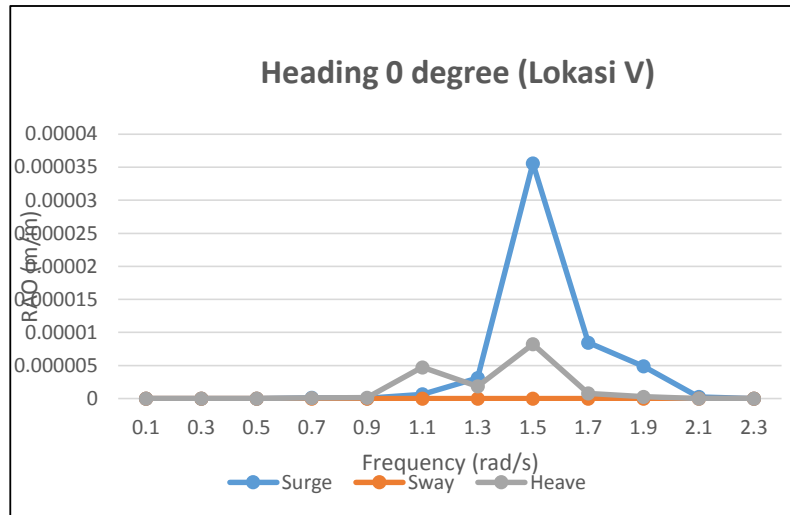


Heading 0 degree (Lokasi IV)



Heading 0 degree (Lokasi IV)





III. Respon Spektra Heading 45 Degree

Lokasi I-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	3.305E-11	4.4066E-11	7.4071E-11	3.41E-11	6.054E-11	4.42111E-11
0.7	9.053E-06	1.5127E-05	2.18E-05	4.26E-05	8.71E-05	5.17453E-05
0.9	5.764E-07	7.5257E-10	5.8456E-07	3.93E-07	5.621E-05	2.42529E-05
1.1	2.101E-06	2.2147E-05	2.0479E-05	0.000475	0.000534	8.15521E-07
1.3	1.372E-06	4.5802E-07	1.7434E-06	5.56E-05	0.000229	0.000166868
1.5	1.299E-05	1.3688E-05	8.5851E-06	0.00091	0.00031	0.000182275
1.7	1.32E-07	4.7904E-07	6.3192E-08	0.000289	2.195E-06	9.0534E-06
1.9	1.288E-07	1.3839E-08	2.2317E-10	6.61E-05	3.248E-07	6.59383E-07
2.1	1.142E-08	1.8494E-09	1.7259E-11	2.08E-06	2.857E-08	1.00278E-09
2.3	8.414E-11	5.6101E-11	5.4868E-12	2.73E-08	2.774E-10	8.12221E-11

Lokasi II-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0.0009206	0.00098891	0.00188127	0.000104	0.0001994	0.000174666
0.5	0.0244159	0.03255353	0.05471907	0.025213	0.0447206	0.032660457
0.7	0.0183132	0.03059818	0.04409779	0.086166	0.1761834	0.104670912
0.9	0.0003126	4.0816E-07	0.00031704	0.000213	0.0304842	0.013153589
1.1	7.838E-06	8.26E-05	7.638E-05	0.001772	0.0019918	3.04158E-06
1.3	1.793E-07	5.9849E-08	2.2782E-07	7.26E-06	2.993E-05	2.18048E-05
1.5	8.315E-07	8.7602E-07	5.4943E-07	5.82E-05	1.984E-05	1.16652E-05
1.7	6.668E-09	2.4193E-08	3.1914E-09	1.46E-05	1.109E-07	4.57224E-07
1.9	9.571E-09	1.0284E-09	1.6585E-11	4.91E-06	2.414E-08	4.9003E-08
2.1	6.71E-10	1.0869E-10	1.0143E-12	1.22E-07	1.679E-09	5.89347E-11
2.3	4.033E-12	2.6887E-12	2.6296E-13	1.31E-09	1.329E-11	3.89263E-12

Lokasi III-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	3.424E-11	4.5656E-11	7.6742E-11	3.54E-11	6.272E-11	4.58056E-11
0.7	9.38E-06	1.5672E-05	2.2586E-05	4.41E-05	9.024E-05	5.36111E-05
0.9	5.971E-07	7.7972E-10	6.0565E-07	4.07E-07	5.823E-05	2.51277E-05
1.1	2.175E-06	2.2919E-05	2.1193E-05	0.000492	0.0005527	8.4394E-07
1.3	8.961E-07	2.9905E-07	1.1383E-06	3.63E-05	0.0001496	0.000108953
1.5	7.783E-06	8.2004E-06	5.1432E-06	0.000545	0.0001857	0.000109198
1.7	8.38E-08	3.0406E-07	4.011E-08	0.000183	1.393E-06	5.74648E-06
1.9	1.17E-07	1.2569E-08	2.027E-10	6E-05	2.95E-07	5.98908E-07
2.1	1.125E-08	1.8219E-09	1.7003E-11	2.05E-06	2.814E-08	9.87898E-10
2.3	8.14E-11	5.427E-11	5.3077E-12	2.64E-08	2.684E-10	7.85704E-11

Lokasi IV-Heading 45

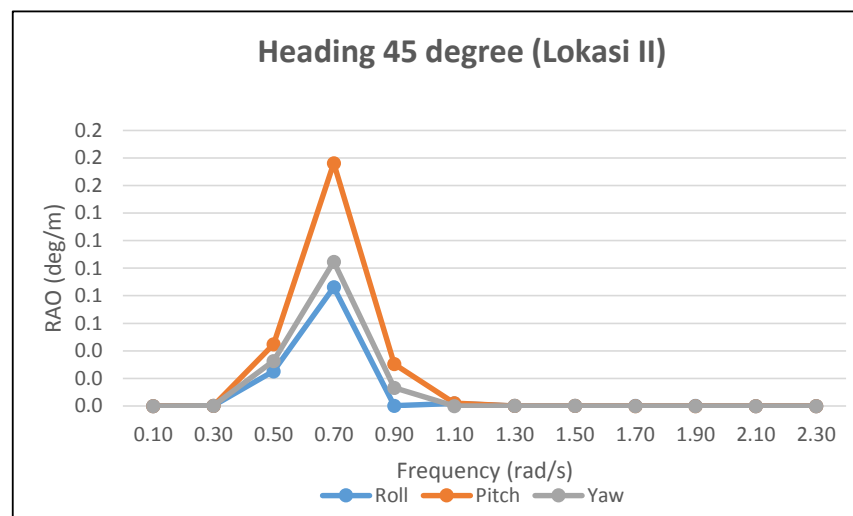
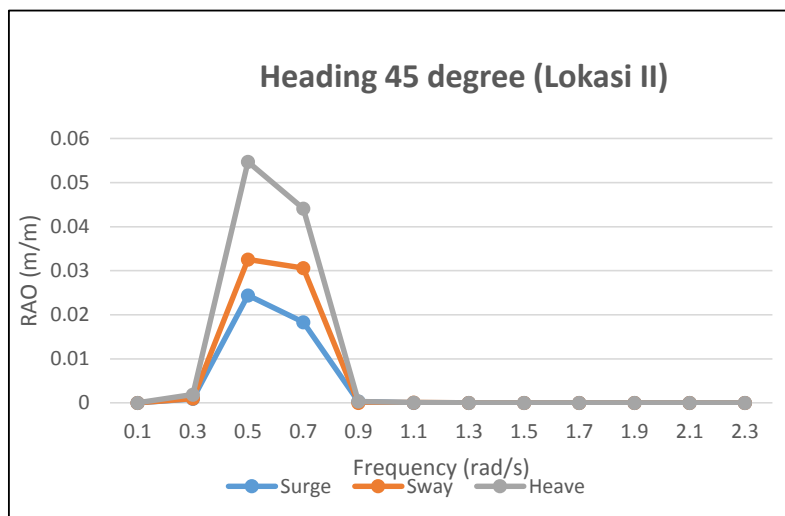
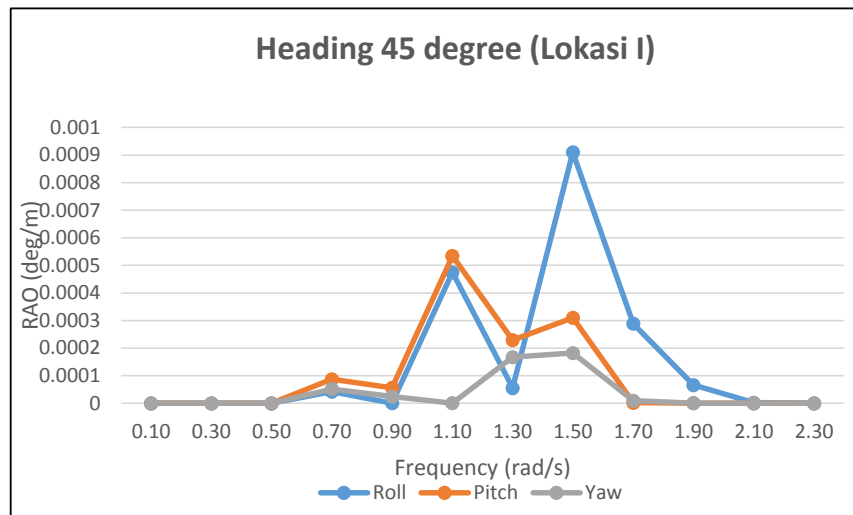
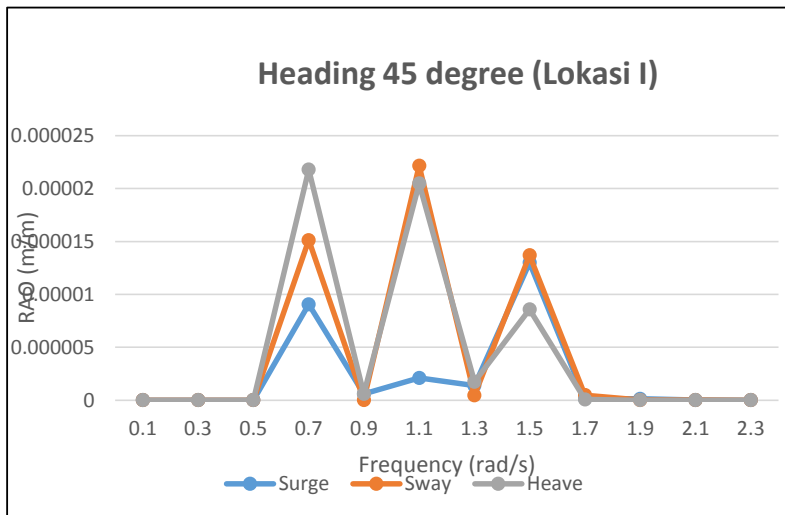
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	2.607E-11	3.4754E-11	5.8419E-11	2.69E-11	4.774E-11	3.48686E-11
0.7	7.14E-06	1.193E-05	1.7194E-05	3.36E-05	6.869E-05	4.08109E-05
0.9	4.546E-07	5.9354E-10	4.6103E-07	3.1E-07	4.433E-05	1.91279E-05
1.1	1.657E-06	1.7467E-05	1.6152E-05	0.000375	0.0004212	6.43191E-07
1.3	1.082E-06	3.6123E-07	1.375E-06	4.38E-05	0.0001806	0.000131607
1.5	1.025E-05	1.0796E-05	6.7709E-06	0.000718	0.0002445	0.000143757
1.7	1.041E-07	3.7781E-07	4.9839E-08	0.000228	1.731E-06	7.14026E-06
1.9	1.016E-07	1.0914E-08	1.7601E-10	5.21E-05	2.562E-07	5.20045E-07
2.1	9.004E-09	1.4586E-09	1.3612E-11	1.64E-06	2.253E-08	7.90877E-10
2.3	6.636E-11	4.4246E-11	4.3273E-12	2.16E-08	2.188E-10	6.40586E-11

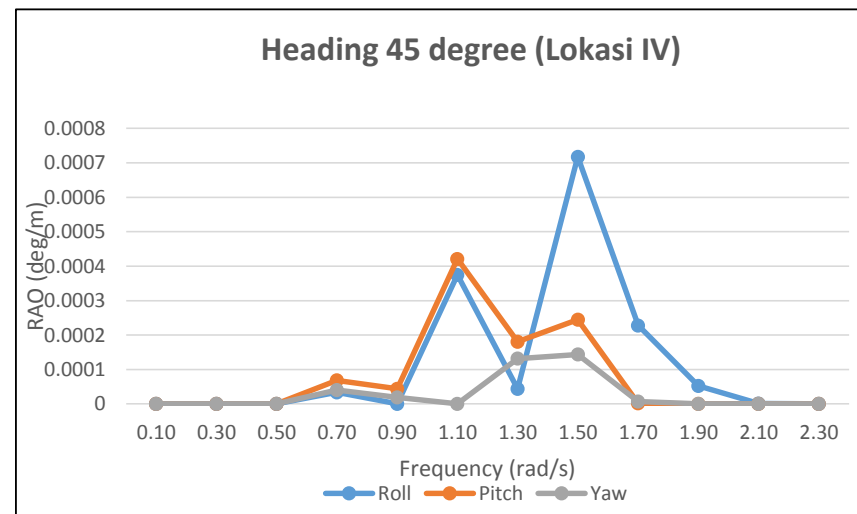
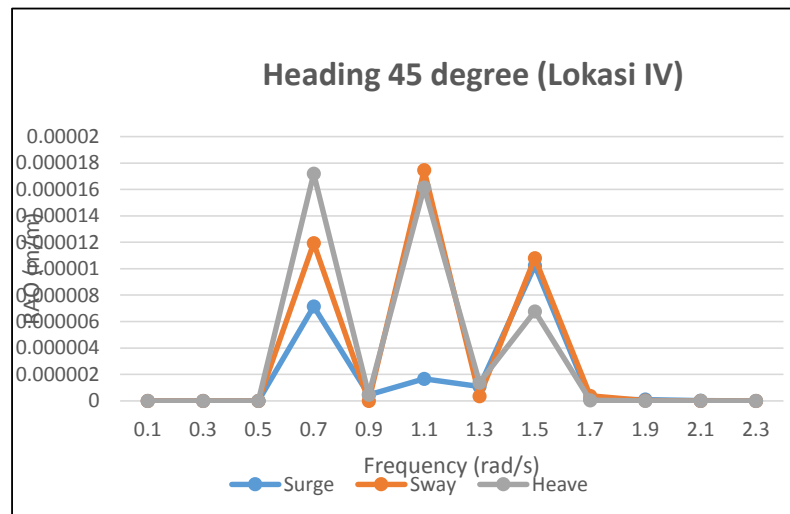
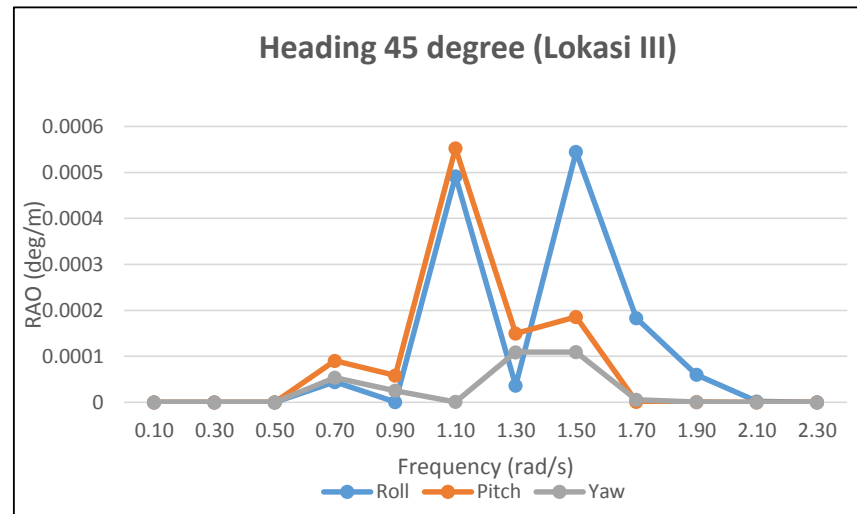
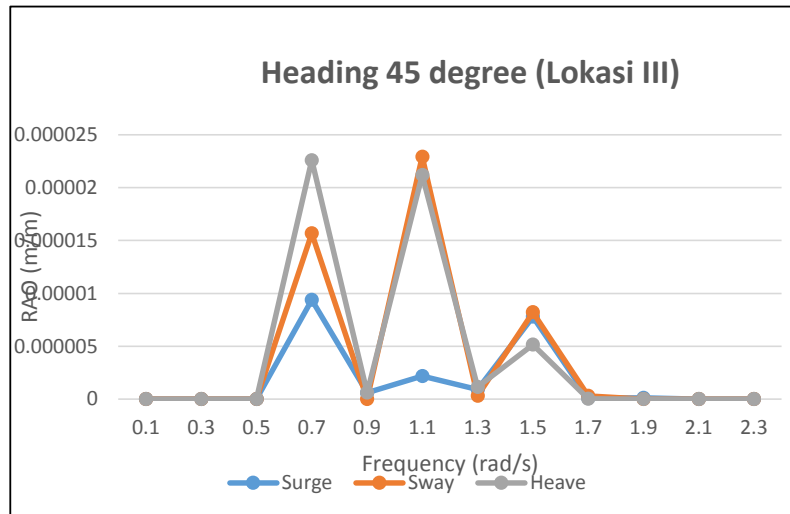
Lokasi V-Heading 45

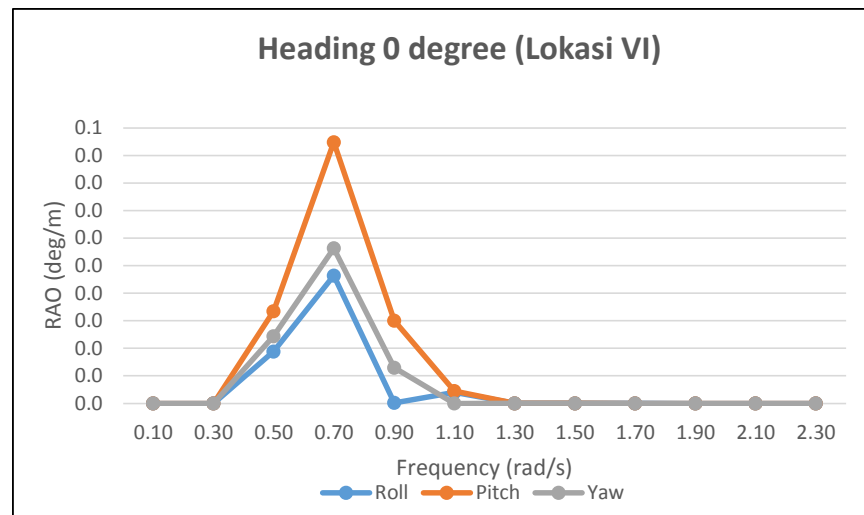
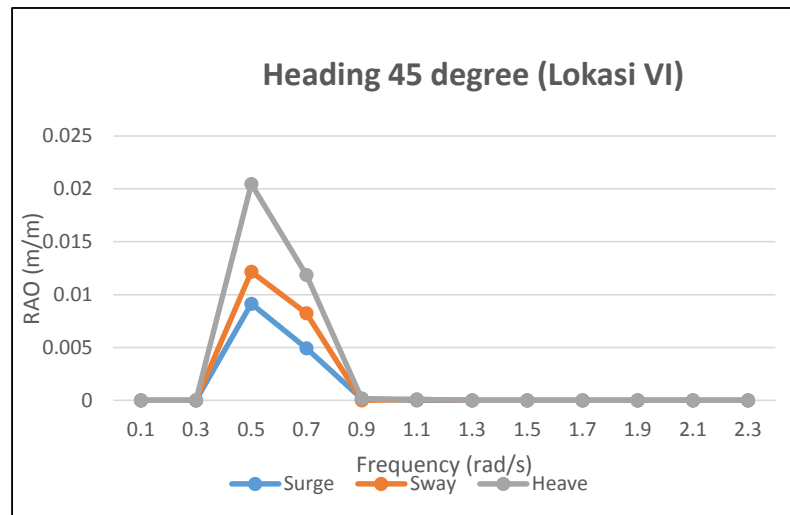
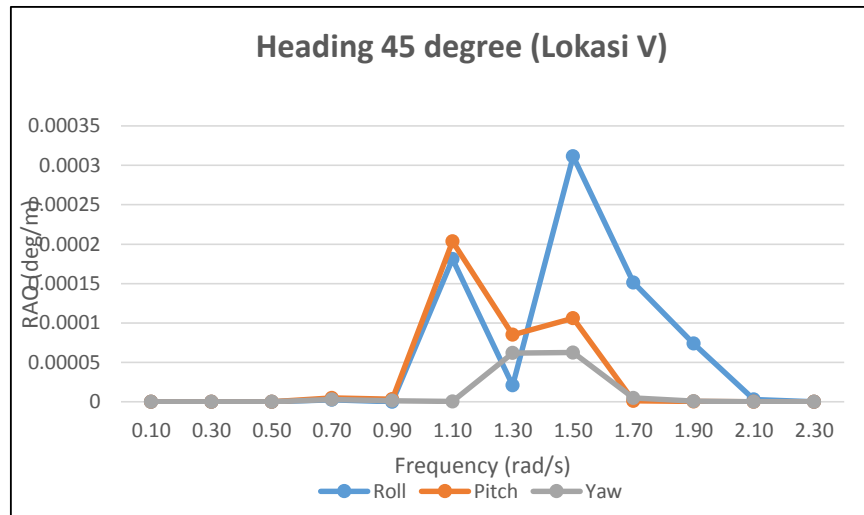
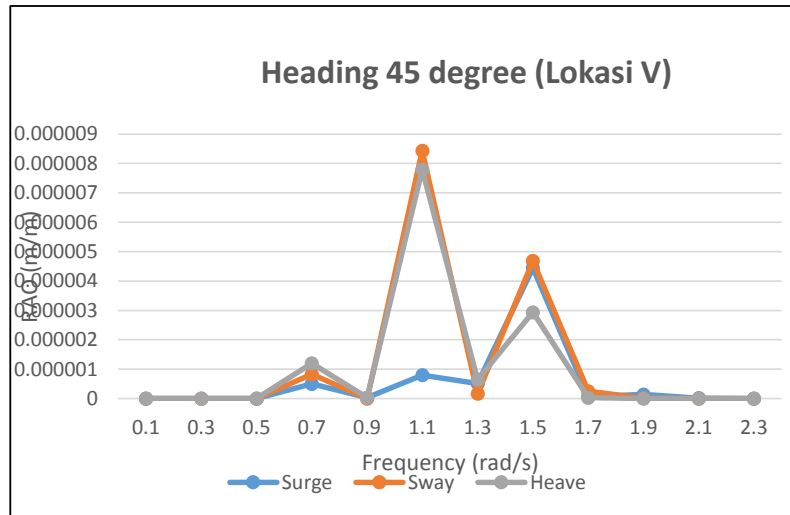
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	4.985E-07	8.3288E-07	1.2003E-06	2.35E-06	4.796E-06	2.84912E-06
0.9	3.173E-08	4.1437E-11	3.2186E-08	2.16E-08	3.095E-06	1.33537E-06
1.1	8.002E-07	8.4336E-06	7.7984E-06	0.000181	0.0002034	3.10548E-07
1.3	5.087E-07	1.6975E-07	6.4614E-07	2.06E-05	8.489E-05	6.18438E-05
1.5	4.449E-06	4.6877E-06	2.9401E-06	0.000312	0.0001062	6.24227E-05
1.7	6.923E-08	2.5121E-07	3.3139E-08	0.000151	1.151E-06	4.74771E-06
1.9	1.441E-07	1.5483E-08	2.4968E-10	7.4E-05	3.634E-07	7.37712E-07
2.1	1.592E-08	2.5788E-09	2.4066E-11	2.9E-06	3.984E-08	1.39832E-09
2.3	1.256E-10	8.3743E-11	8.1902E-12	4.08E-08	4.141E-10	1.21241E-10

Lokasi VI-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	2.274E-08	2.4432E-08	4.6479E-08	2.58E-09	4.926E-09	4.31535E-09
0.5	0.0091351	0.01217973	0.02047284	0.009433	0.016732	0.012219733
0.7	0.0049276	0.00823312	0.01186548	0.023185	0.047406	0.028164017
0.9	0.000154	2.0104E-07	0.00015616	0.000105	0.0150149	0.006478747
1.1	8.892E-06	9.3707E-05	8.6651E-05	0.002011	0.0022596	3.45058E-06
1.3	9.693E-08	3.2347E-08	1.2313E-07	3.93E-06	1.618E-05	1.17849E-05
1.5	4.181E-07	4.4045E-07	2.7625E-07	2.93E-05	9.975E-06	5.86516E-06
1.7	3.277E-09	1.189E-08	1.5684E-09	7.16E-06	5.449E-08	2.24704E-07
1.9	4.645E-09	4.9906E-10	8.048E-12	2.38E-06	1.171E-08	2.37789E-08
2.1	3.195E-10	5.1759E-11	4.8303E-13	5.83E-08	7.995E-10	2.80652E-11
2.3	1.907E-12	1.2715E-12	1.2436E-13	6.2E-10	6.287E-12	1.84087E-12







III. Respon Spektra Heading 90 Degree

Lokasi I-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	2.523E-15	1.1588E-10	1.0475E-10	9.06E-11	5.811E-14	2.08058E-12
0.7	1.031E-08	9.8822E-05	0.00010019	0.00011	3.685E-07	1.49256E-06
0.9	2.544E-08	5.561E-05	7.9888E-05	0.000186	1.365E-06	1.03731E-06
1.1	1.91E-07	0.00046282	0.00034716	0.001901	1.3E-05	1.08646E-05
1.3	1.733E-08	0.00019132	7.7753E-05	0.014035	1.838E-06	5.54222E-06
1.5	1.735E-08	0.00066075	0.00023197	0.014593	3.44E-06	2.2197E-05
1.7	4.008E-10	2.4449E-05	1.1327E-05	0.002902	1.106E-07	8.81321E-07
1.9	2.982E-11	2.4255E-07	1.5564E-06	0.001073	1.064E-08	9.93481E-09
2.1	2.76E-13	4.776E-07	2.1821E-08	0.000653	1.309E-10	1.81744E-08
2.3	4.084E-14	3.722E-08	2.269E-09	1.79E-05	1.197E-11	1.47024E-09

Lokasi II-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	2.515E-09	0.002048	0.00195725	0.000215	7.262E-08	4.10505E-05
0.5	1.864E-06	0.08560212	0.07738661	0.066909	4.293E-05	0.001537003
0.7	2.085E-05	0.19989769	0.20267354	0.222051	0.0007455	0.003019173
0.9	1.38E-05	0.0301603	0.04332722	0.10112	0.0007402	0.000562584
1.1	7.125E-07	0.00172613	0.00129478	0.007092	4.849E-05	4.05208E-05
1.3	2.264E-09	2.4999E-05	1.016E-05	0.001834	2.402E-07	7.24206E-07
1.5	1.11E-09	4.2287E-05	1.4846E-05	0.000934	2.202E-07	1.42056E-06
1.7	2.024E-11	1.2347E-06	5.7206E-07	0.000147	5.588E-09	4.45094E-08
1.9	2.216E-12	1.8025E-08	1.1567E-07	7.98E-05	7.909E-10	7.38319E-10
2.1	1.622E-14	2.8069E-08	1.2825E-09	3.84E-05	7.691E-12	1.06813E-09
2.3	1.957E-15	1.7838E-09	1.0874E-10	8.56E-07	5.738E-13	7.04624E-11

Lokasi III-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	2.614E-15	1.2006E-10	1.0853E-10	9.38E-11	6.021E-14	2.15561E-12
0.7	1.068E-08	0.00010238	0.00010381	0.000114	3.818E-07	1.54638E-06
0.9	2.636E-08	5.7616E-05	8.2769E-05	0.000193	1.414E-06	1.07472E-06
1.1	1.977E-07	0.00047895	0.00035926	0.001968	1.345E-05	1.12432E-05
1.3	1.131E-08	0.00012492	5.0768E-05	0.009164	1.2E-06	3.61869E-06
1.5	1.039E-08	0.00039584	0.00013897	0.008742	2.061E-06	1.32979E-05
1.7	2.544E-10	1.5518E-05	7.1897E-06	0.001842	7.023E-08	5.59403E-07
1.9	2.709E-11	2.203E-07	1.4137E-06	0.000975	9.667E-09	9.02364E-09
2.1	2.719E-13	4.7051E-07	2.1497E-08	0.000644	1.289E-10	1.79046E-08
2.3	3.951E-14	3.6004E-08	2.1949E-09	1.73E-05	1.158E-11	1.42224E-09

Lokasi IV-Heading 90

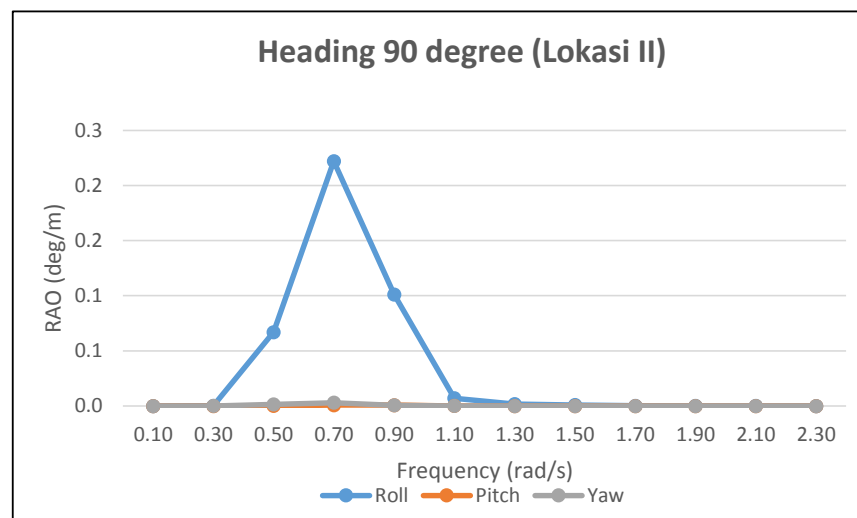
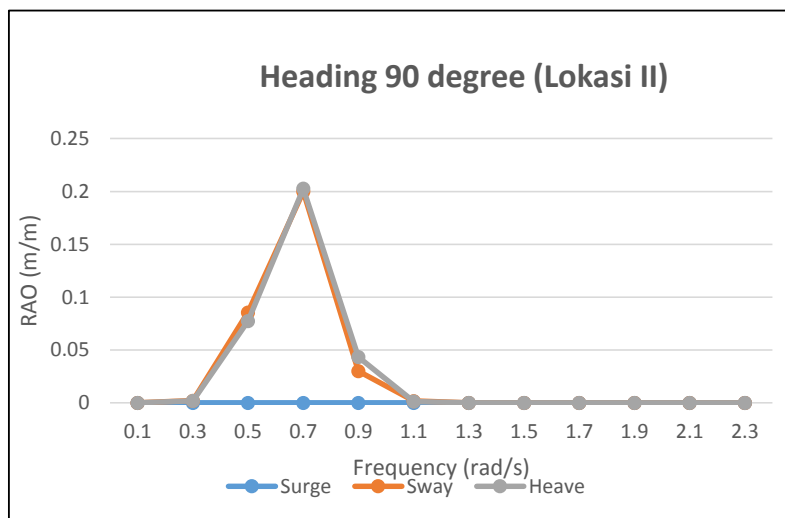
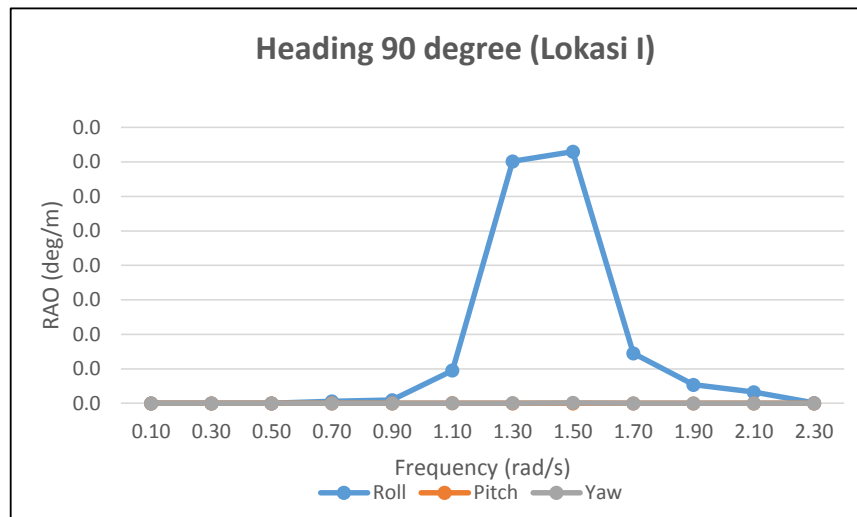
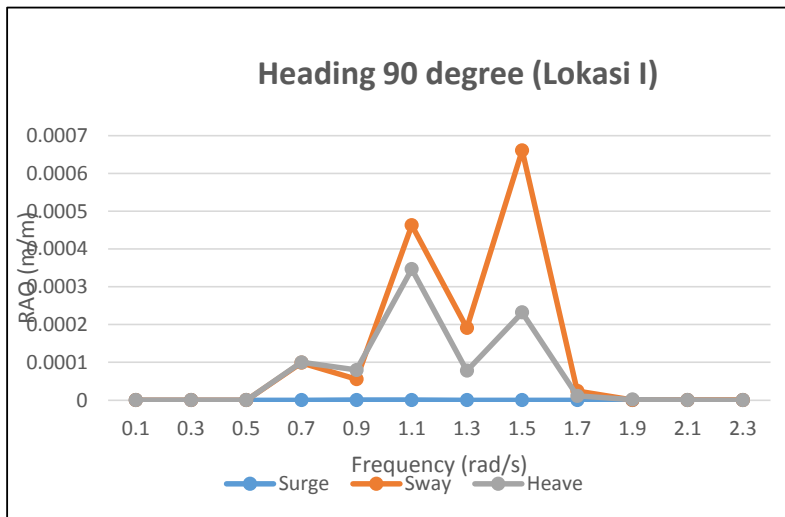
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.99E-15	9.139E-11	8.2619E-11	7.14E-11	4.583E-14	1.64092E-12
0.7	8.13E-09	7.7939E-05	7.9022E-05	8.66E-05	2.907E-07	1.17717E-06
0.9	2.007E-08	4.3859E-05	6.3006E-05	0.000147	1.076E-06	8.18109E-07
1.1	1.507E-07	0.00036502	0.0002738	0.0015	1.025E-05	8.56877E-06
1.3	1.367E-08	0.00015089	6.1323E-05	0.01107	1.45E-06	4.37107E-06
1.5	1.368E-08	0.00052112	0.00018295	0.011509	2.713E-06	1.75064E-05
1.7	3.161E-10	1.9282E-05	8.9335E-06	0.002289	8.727E-08	6.95083E-07
1.9	2.352E-11	1.9129E-07	1.2275E-06	0.000846	8.394E-09	7.83542E-09
2.1	2.177E-13	3.7667E-07	1.721E-08	0.000515	1.032E-10	1.43338E-08
2.3	3.221E-14	2.9354E-08	1.7895E-09	1.41E-05	9.443E-12	1.15956E-09

Lokasi V-Heading 90

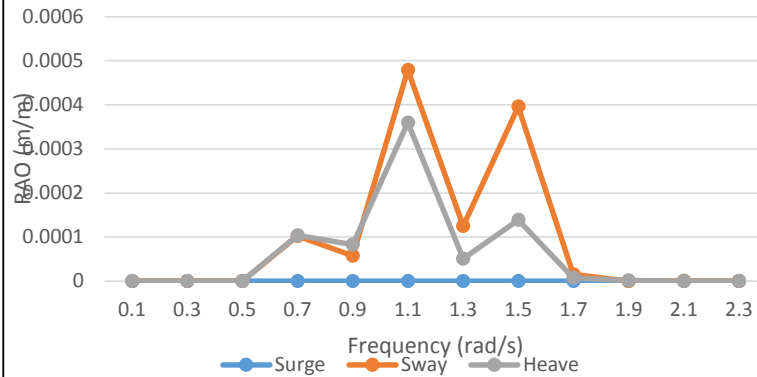
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	5.676E-10	5.4412E-06	5.5167E-06	6.04E-06	2.029E-08	8.21812E-08
0.9	1.401E-09	3.0619E-06	4.3986E-06	1.03E-05	7.515E-08	5.71142E-08
1.1	7.275E-08	0.00017624	0.0001322	0.000724	4.951E-06	4.13721E-06
1.3	6.422E-09	7.0904E-05	2.8817E-05	0.005202	6.813E-07	2.05403E-06
1.5	5.942E-09	0.00022628	7.9441E-05	0.004998	1.178E-06	7.60169E-06
1.7	2.102E-10	1.2821E-05	5.9401E-06	0.001522	5.803E-08	4.62175E-07
1.9	3.336E-11	2.7136E-07	1.7413E-06	0.001201	1.191E-08	1.1115E-08
2.1	3.849E-13	6.6598E-07	3.0428E-08	0.000911	1.825E-10	2.5343E-08
2.3	6.097E-14	5.5558E-08	3.3869E-09	2.66E-05	1.787E-11	2.19464E-09

Lokasi VI-Heading 90

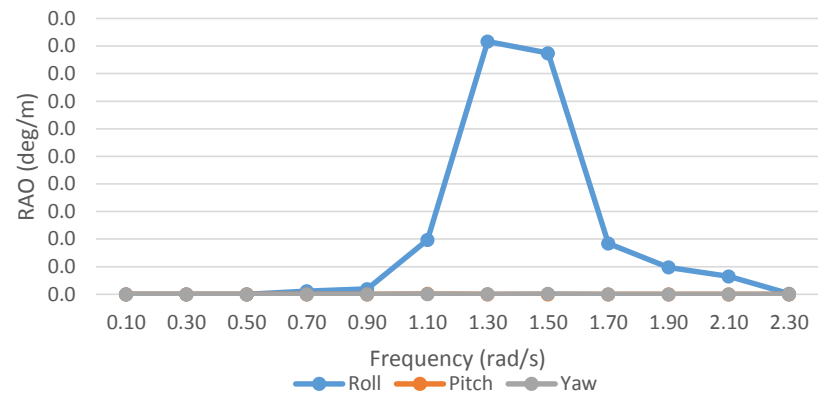
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	6.214E-14	5.0599E-08	4.8356E-08	5.3E-09	1.794E-12	1.01421E-09
0.5	6.974E-07	0.03202757	0.02895378	0.025034	1.606E-05	0.000575061
0.7	5.611E-06	0.05378688	0.05453379	0.059748	0.0002006	0.000812375
0.9	6.797E-06	0.01485534	0.02134065	0.049806	0.0003646	0.000277099
1.1	8.083E-07	0.00195825	0.00146889	0.008045	5.501E-05	4.59696E-05
1.3	1.224E-09	1.3512E-05	5.4913E-06	0.000991	1.298E-07	3.91415E-07
1.5	5.583E-10	2.1261E-05	7.4642E-06	0.00047	1.107E-07	7.14245E-07
1.7	9.948E-12	6.0681E-07	2.8114E-07	7.2E-05	2.746E-09	2.18743E-08
1.9	1.075E-12	8.7468E-09	5.6128E-08	3.87E-05	3.838E-10	3.58272E-10
2.1	7.726E-15	1.3367E-08	6.1072E-10	1.83E-05	3.662E-12	5.08653E-10
2.3	9.257E-16	8.4357E-10	5.1425E-11	4.05E-07	2.714E-13	3.33226E-11



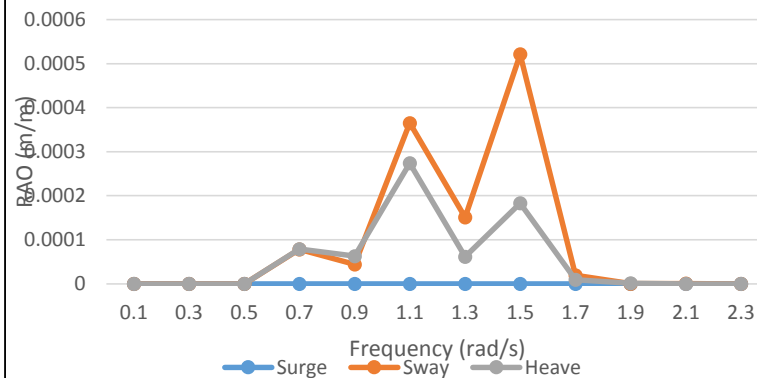
Heading 90 degree (Lokasi III)



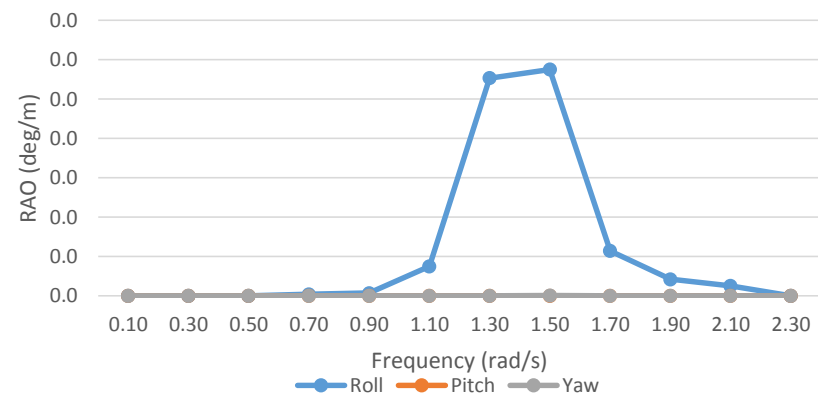
Heading 90 degree (Lokasi III)

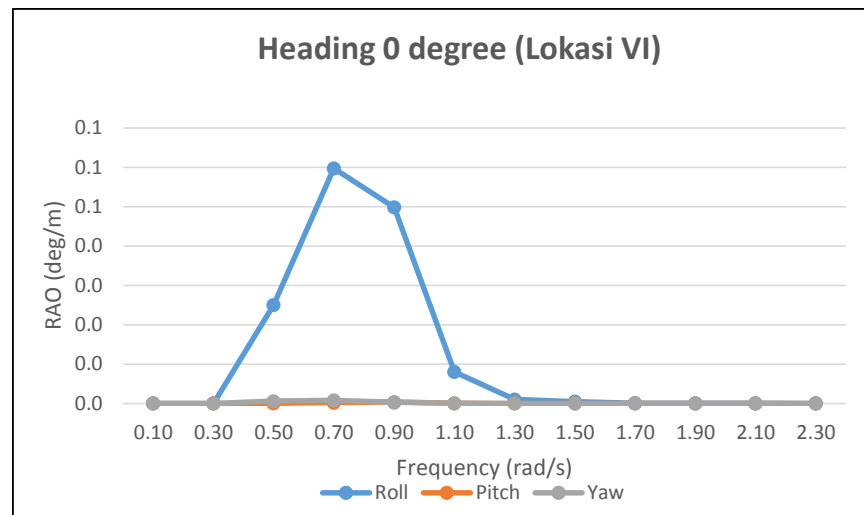
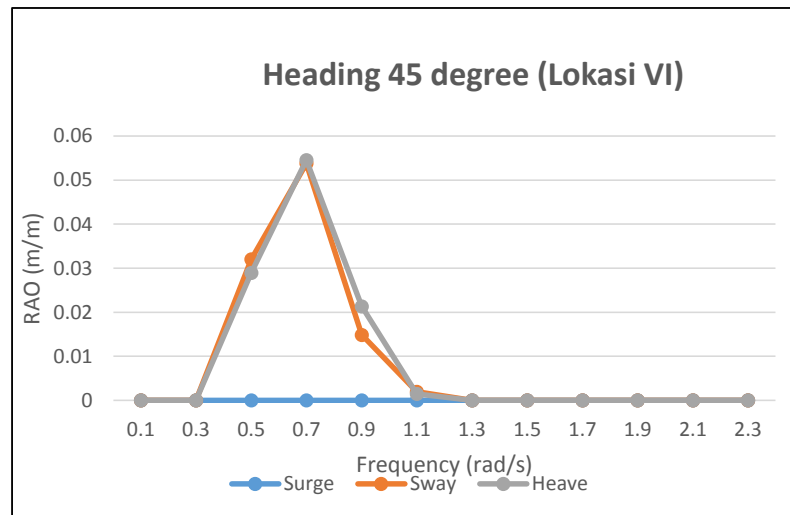
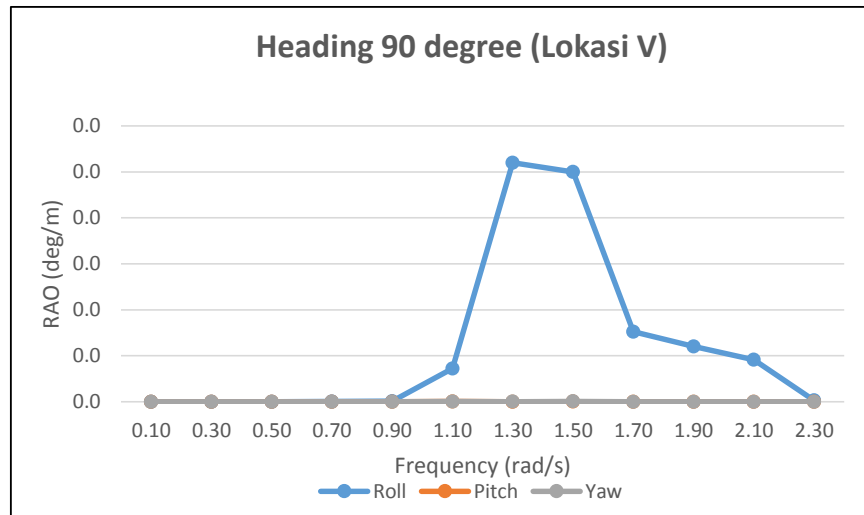
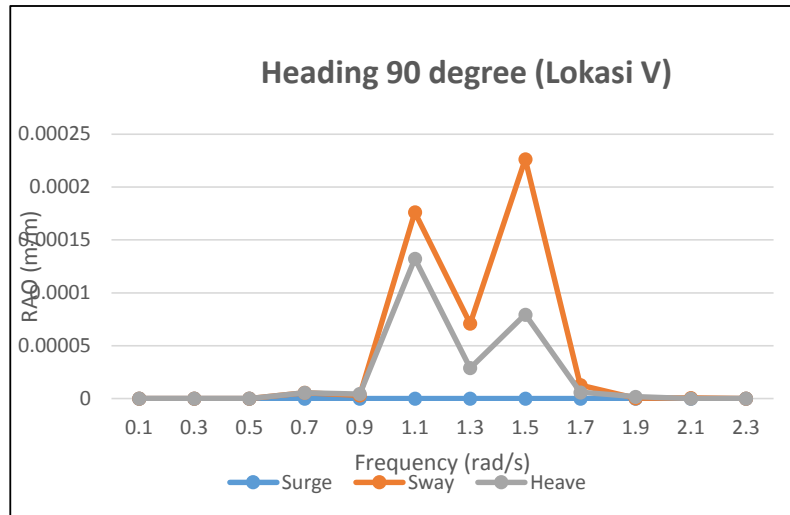



Heading 90 degree (Lokasi IV)

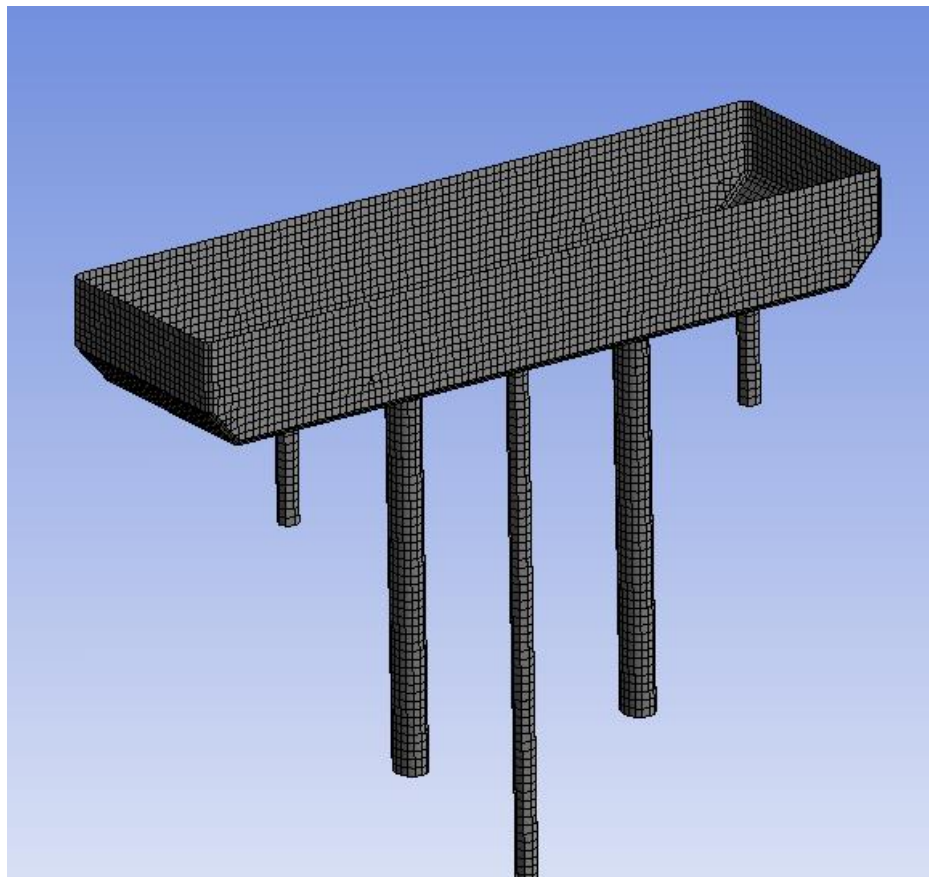


Heading 90 degree (Lokasi IV)





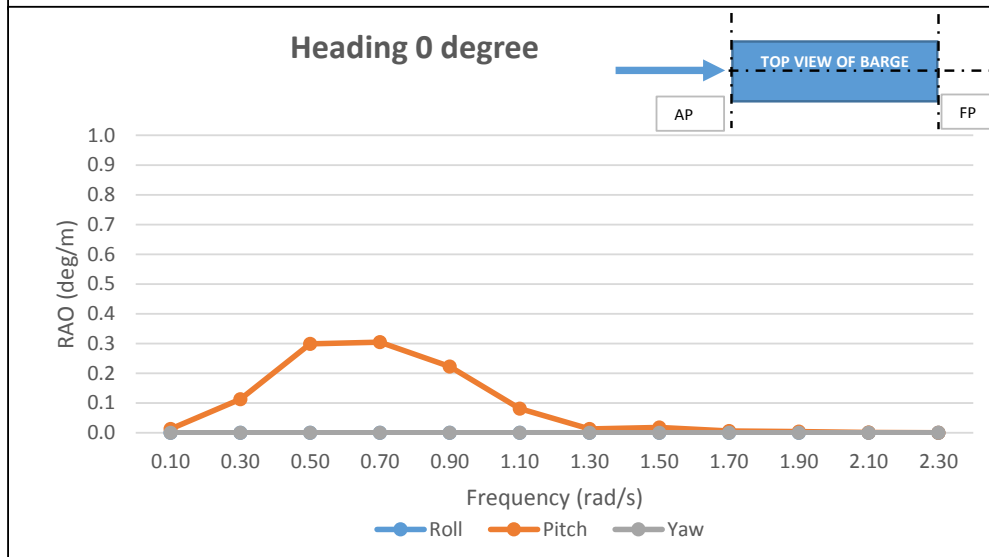
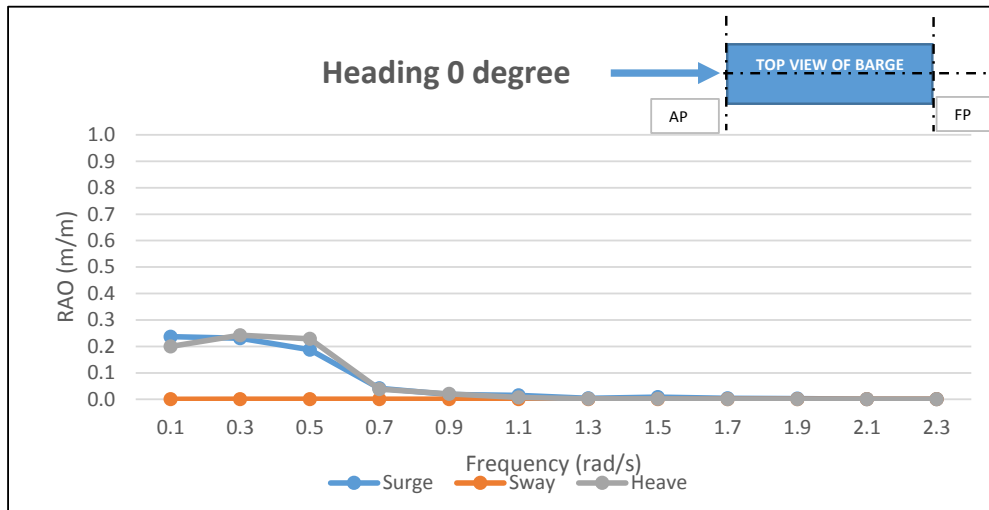
	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	
Analisis RAO 10 mW (Floating)			



OTEC BARGE 10 mW				
Model			Mesh	
L	110	m	Max. Element Size (m)	1.8
B	32	m	Max. Allowed Frequency (rad/s)	2.858
H	16	m	Number of Nodes	5625
T	9	m	Number of Elements	5481
Cb	0.9786		Number of Diff. Nodes	4541
LCG	58.86	m From AP	Number of Diff. Elements	4409
KG	-9.57	m	Weight	
LCB	54.934	m	Lightweight (LWT)	7237.30 ton
KB	4.59	m	Deadweight (DWT)	24228.48 ton
Kxx	12	m	LWT+DWT	31465.78 ton
Kyy	27.5	m	-	-

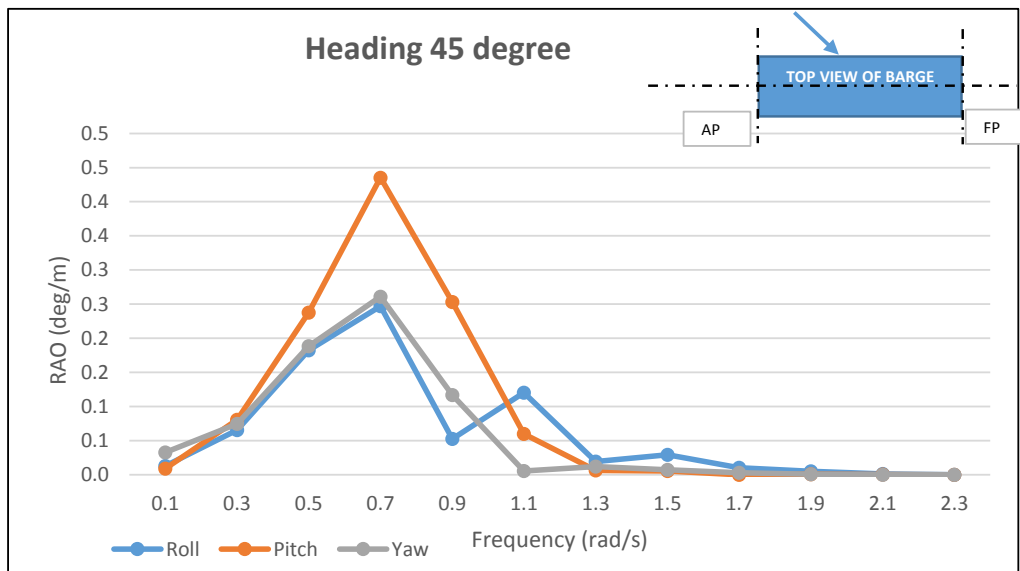
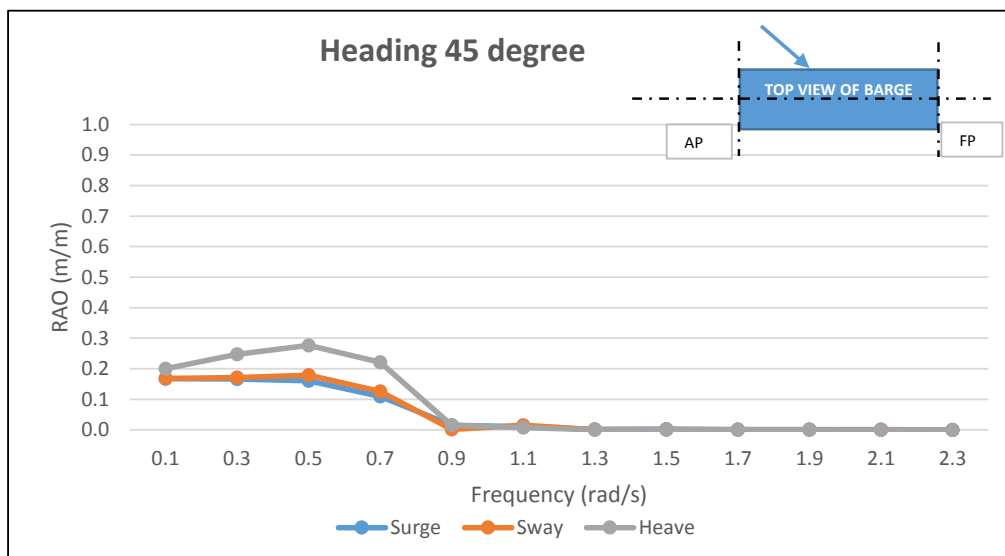
I. Heading 0 Degree

Frequency(rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.236921	0.00000464	0.199917	0.000000	0.012501	0.000000
0.3	0.230546	0.00000076	0.242495	0.000000	0.112486	0.000001
0.5	0.187833	0.00000042	0.228767	0.000001	0.298993	0.000002
0.7	0.042004	0.00000121	0.038293	0.000003	0.304560	0.000001
0.9	0.018481	0.00000218	0.020285	0.000009	0.223066	0.000003
1.1	0.014908	0.00000165	0.007583	0.000020	0.081428	0.000003
1.3	0.004233	0.00000151	0.001289	0.000133	0.012718	0.000025
1.5	0.008434	0.00000028	0.001892	0.000006	0.017524	0.000003
1.7	0.003800	0.00000026	0.000595	0.000005	0.005839	0.000001
1.9	0.002942	0.00000025	0.000312	0.000003	0.003781	0.000001
2.1	0.000824	0.00000013	0.000084	0.000001	0.000861	0.000001
2.3	0.000188	0.00000007	0.000009	0.000001	0.000172	0.000000



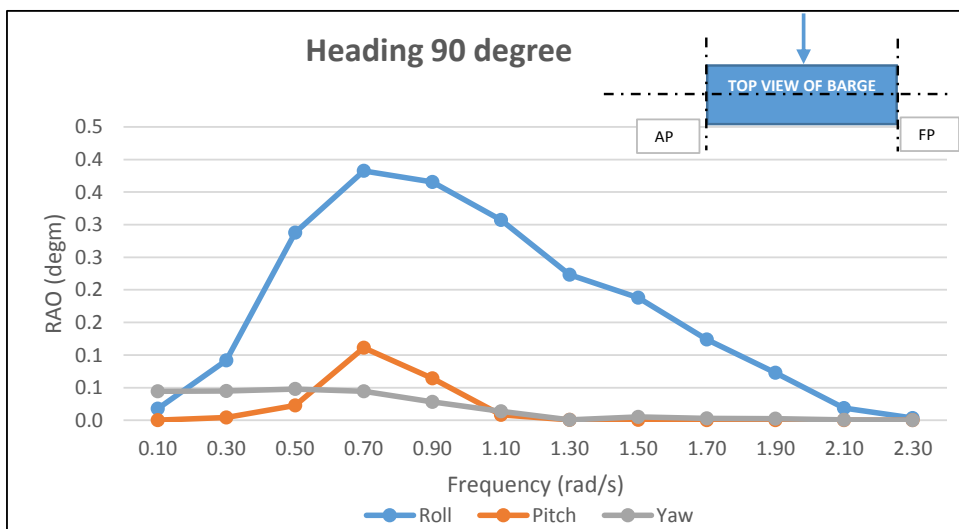
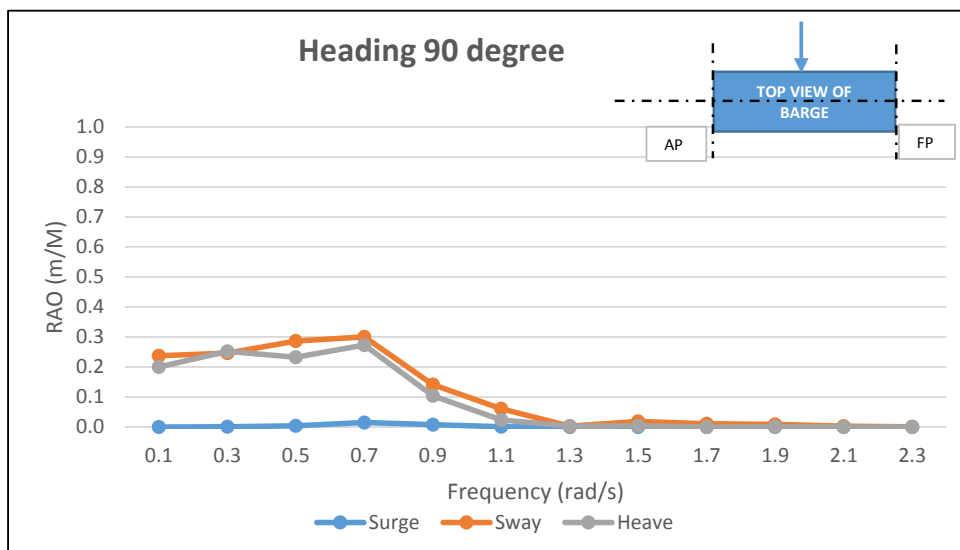
II. Heading 45 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.167591	0.168078	0.199986	0.012817	0.008844	0.032763
0.3	0.166609	0.171077	0.247317	0.065366	0.080622	0.074464
0.5	0.160993	0.178939	0.276736	0.182488	0.237586	0.188293
0.7	0.109062	0.125864	0.221593	0.246986	0.435343	0.261018
0.9	0.014969	0.001255	0.014844	0.052401	0.252976	0.116697
1.1	0.010356	0.014485	0.007589	0.120104	0.059945	0.005331
1.3	0.001751	0.000731	0.000757	0.019218	0.006394	0.011887
1.5	0.002578	0.000913	0.000651	0.029202	0.005596	0.007081
1.7	0.000056	0.000647	0.000041	0.010295	0.000009	0.002731
1.9	0.000592	0.000593	0.000052	0.005047	0.000683	0.000967
2.1	0.000187	0.000138	0.000013	0.001055	0.000170	0.000058
2.3	0.000007	0.000014	0.000000	0.000077	0.000007	0.000037



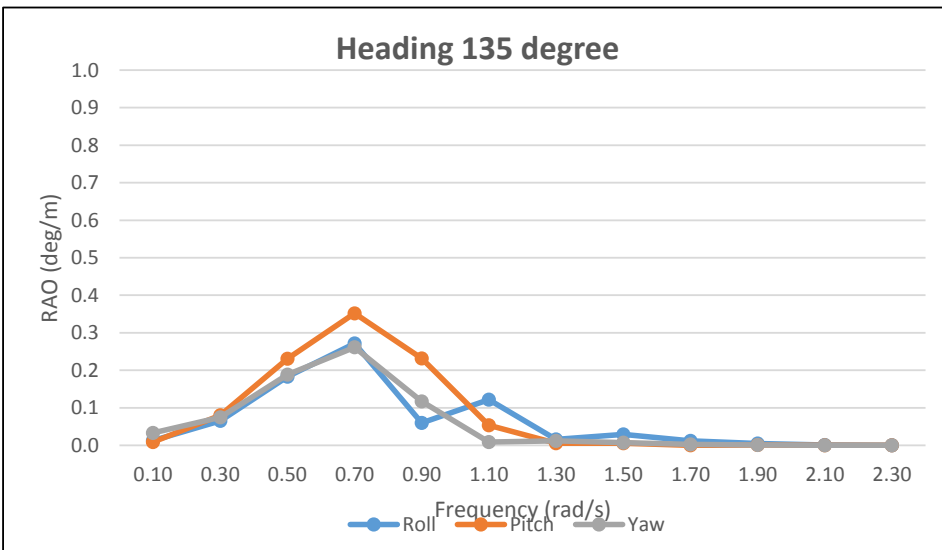
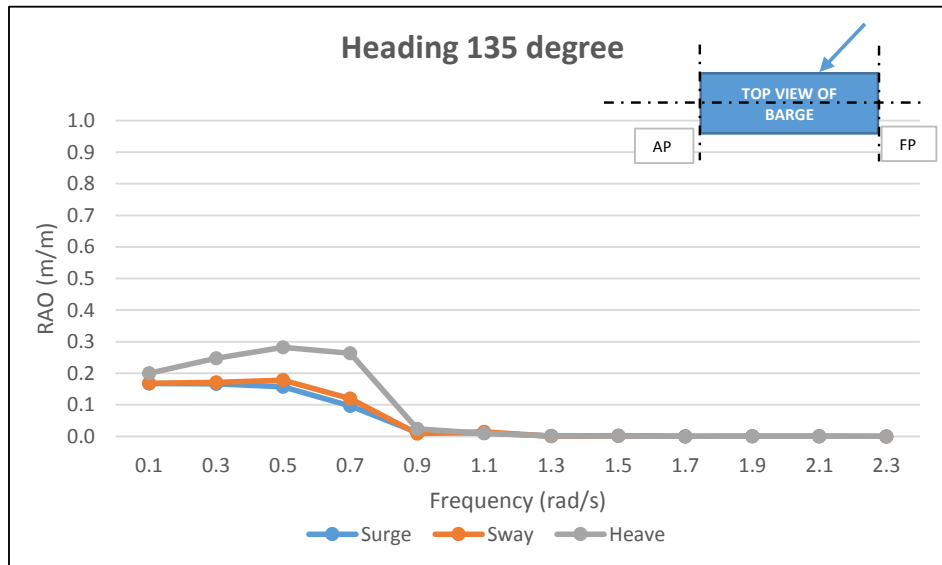
III. Heading 90 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.000047	0.237767	0.200049	0.017935	0.000323	0.044539
0.3	0.000700	0.245919	0.252230	0.091688	0.004255	0.044861
0.5	0.004060	0.286616	0.232150	0.287845	0.022508	0.047785
0.7	0.014981	0.300307	0.272988	0.382464	0.111104	0.044611
0.9	0.007195	0.141472	0.103802	0.365389	0.064423	0.027988
1.1	0.000724	0.060584	0.023729	0.307107	0.008239	0.013858
1.3	0.000050	0.003006	0.002704	0.223218	0.000658	0.000777
1.5	0.000025	0.018824	0.003298	0.188070	0.000625	0.004961
1.7	0.000005	0.010588	0.000166	0.123780	0.000026	0.002842
1.9	0.000004	0.008388	0.000305	0.072924	0.000039	0.002245
2.1	0.000000	0.002560	0.000039	0.018870	0.000005	0.000669
2.3	0.000000	0.000512	0.000008	0.003424	0.000001	0.000133



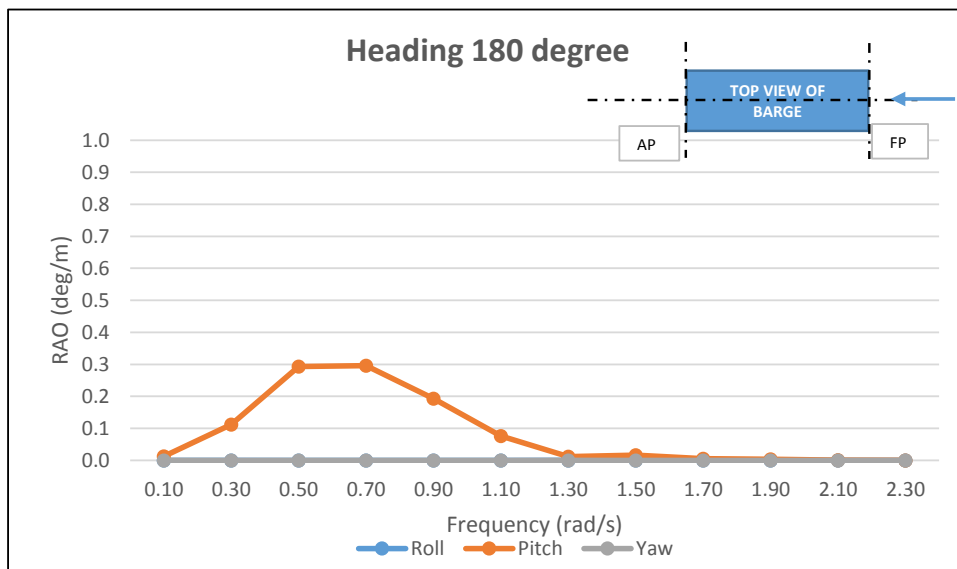
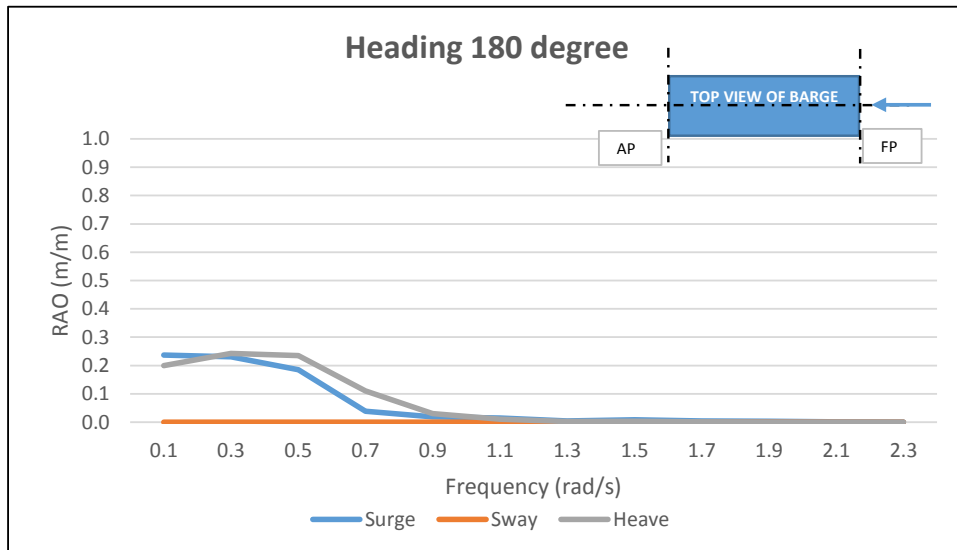
IV. Heading 135 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.167591	0.168078	0.199979	0.012817	0.008844	0.032763
0.3	0.166523	0.171062	0.247437	0.065368	0.080578	0.074473
0.5	0.157256	0.178120	0.282021	0.183232	0.230863	0.188180
0.7	0.096352	0.120133	0.263729	0.271535	0.351907	0.261152
0.9	0.013016	0.008470	0.024241	0.059955	0.231424	0.117224
1.1	0.010575	0.014077	0.009852	0.122117	0.053923	0.008637
1.3	0.001731	0.000908	0.001039	0.016124	0.006012	0.011660
1.5	0.002578	0.001033	0.001015	0.028986	0.005321	0.007200
1.7	0.000045	0.000656	0.000035	0.011585	0.000004	0.002904
1.9	0.000589	0.000602	0.000103	0.005256	0.000665	0.001011
2.1	0.000187	0.000137	0.000026	0.001044	0.000168	0.000073
2.3	0.000007	0.000013	0.000001	0.000079	0.000005	0.000048



IV. Heading 180 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.236921	0.00000450	0.199915	0.000000	0.012501	0.000000
0.3	0.230461	0.00000076	0.242663	0.000000	0.112441	0.000001
0.5	0.184700	0.00000054	0.235073	0.000001	0.293272	0.000002
0.7	0.038321	0.00000186	0.110080	0.000004	0.295931	0.000001
0.9	0.018545	0.00000211	0.030154	0.000011	0.192690	0.000002
1.1	0.015024	0.00000095	0.010685	0.000006	0.075789	0.000002
1.3	0.004203	0.00000151	0.001994	0.000150	0.012092	0.000024
1.5	0.008364	0.00000054	0.003052	0.000015	0.016803	0.000005
1.7	0.003778	0.00000032	0.001007	0.000005	0.005659	0.000001
1.9	0.002924	0.00000040	0.000594	0.000005	0.003676	0.000002
2.1	0.000819	0.00000012	0.000149	0.000001	0.000837	0.000002
2.3	0.000188	0.00000011	0.000022	0.000001	0.000169	0.000000



II. Respon Spektra Heading 0 Degree

Lokasi I-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	3.959E-11	1.9432E-22	5.8721E-11	1.11E-21	1.003E-10	2.73113E-21
0.7	1.171E-06	9.7697E-16	9.7307E-07	7.32E-15	6.155E-05	9.78942E-16
0.9	5.047E-07	7.0328E-15	6.0802E-07	1.16E-13	7.353E-05	9.92426E-15
1.1	1.24E-05	1.5234E-13	3.2093E-06	2.17E-11	0.00037	4.98489E-13
1.3	1.206E-05	1.5367E-12	1.1174E-06	1.19E-08	0.0001088	4.0492E-10
1.5	7.427E-05	8.0616E-14	3.7398E-06	4.06E-11	0.0003207	1.03618E-11
1.7	9.775E-06	4.674E-14	2.3929E-07	1.86E-11	2.308E-05	6.47012E-13
1.9	2.173E-06	1.6081E-14	2.4373E-08	1.89E-12	3.591E-06	4.19308E-13
2.1	7.979E-08	1.9265E-15	8.2978E-10	2.43E-13	8.717E-08	1.39113E-13
2.3	3.02E-09	4.5718E-16	6.7597E-12	4.19E-14	2.522E-09	1.58654E-15

Lokasi II-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0.0016612	1.7823E-14	0.00183787	5.77E-15	0.0003955	5.94574E-14
0.5	0.0292443	1.4355E-13	0.04337955	8.2E-13	0.0741001	2.01759E-12
0.7	0.0023683	1.9762E-12	0.00196833	1.48E-11	0.1245073	1.98021E-12
0.9	0.0002737	3.8143E-12	0.00032976	6.31E-11	0.0398768	5.38244E-12
1.1	4.626E-05	5.6815E-13	1.197E-05	8.08E-11	0.00138	1.85917E-12
1.3	1.576E-06	2.008E-13	1.4601E-07	1.55E-09	1.422E-05	5.29113E-11
1.5	4.753E-06	5.1593E-15	2.3934E-07	2.6E-12	2.052E-05	6.63136E-13
1.7	4.937E-07	2.3605E-15	1.2085E-08	9.41E-13	1.165E-06	3.2676E-14
1.9	1.615E-07	1.1951E-15	1.8113E-09	1.4E-13	2.669E-07	3.11614E-14
2.1	4.689E-09	1.1322E-16	4.8767E-11	1.43E-14	5.123E-09	8.17581E-15
2.3	1.447E-10	2.1911E-17	3.2396E-13	2.01E-15	1.208E-10	7.6036E-17

Lokasi III-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	4.101E-11	2.0132E-22	6.0839E-11	1.15E-21	1.039E-10	2.82963E-21
0.7	1.213E-06	1.0122E-15	1.0082E-06	7.58E-15	6.377E-05	1.01424E-15
0.9	5.229E-07	7.2865E-15	6.2995E-07	1.2E-13	7.618E-05	1.02822E-14
1.1	1.283E-05	1.5764E-13	3.3212E-06	2.24E-11	0.0003829	5.1586E-13
1.3	7.873E-06	1.0034E-12	7.2955E-07	7.74E-09	7.107E-05	2.64385E-10
1.5	4.449E-05	4.8296E-14	2.2404E-06	2.43E-11	0.0001921	6.20762E-12
1.7	6.205E-06	2.9668E-14	1.5188E-07	1.18E-11	1.465E-05	4.10679E-13
1.9	1.974E-06	1.4606E-14	2.2137E-08	1.71E-12	3.262E-06	3.80851E-13
2.1	7.86E-08	1.8979E-15	8.1747E-10	2.39E-13	8.588E-08	1.37048E-13
2.3	2.921E-09	4.4225E-16	6.539E-12	4.05E-14	2.439E-09	1.53474E-15

Lokasi IV-Heading 0

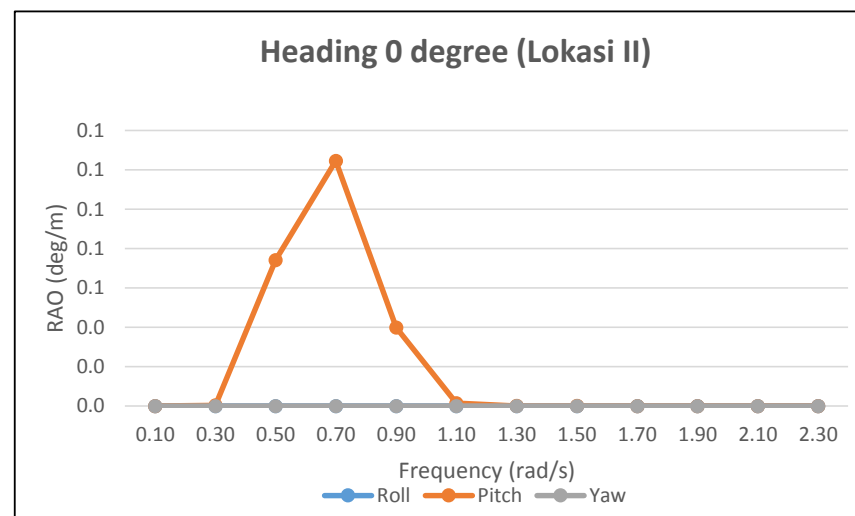
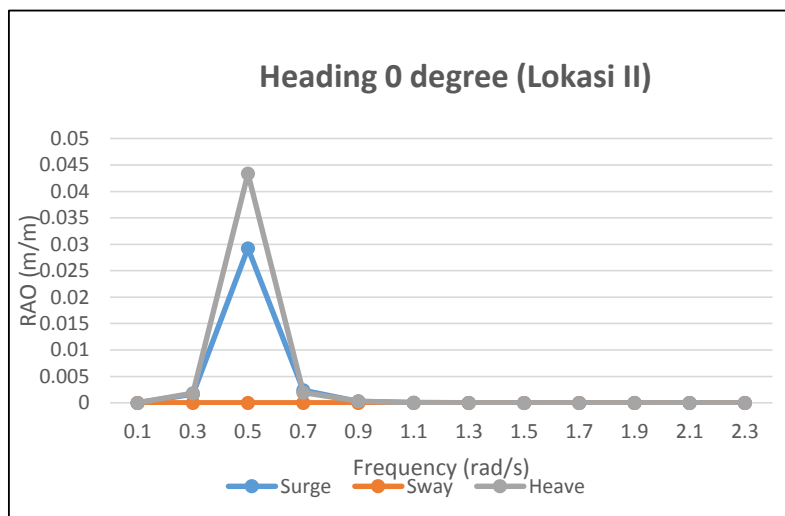
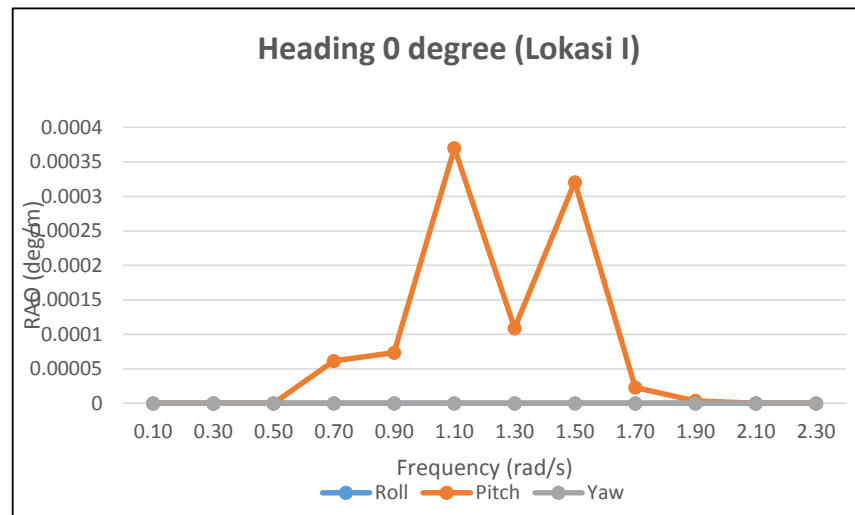
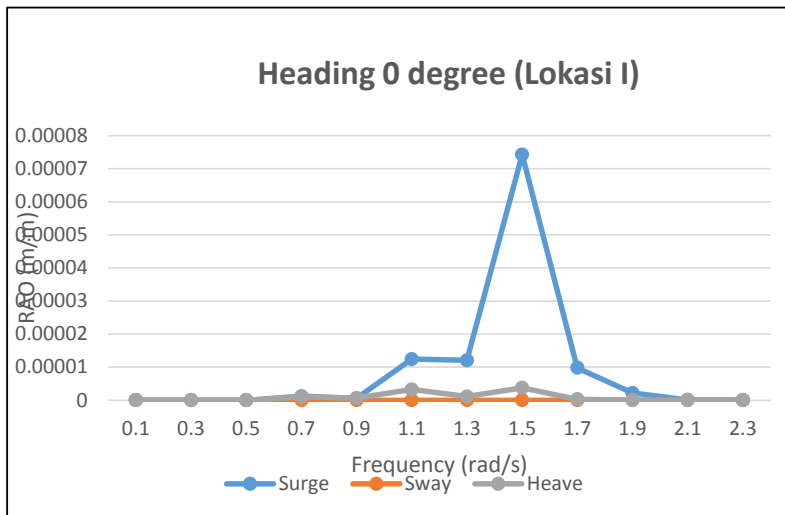
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	3.122E-11	1.5325E-22	4.6312E-11	8.75E-22	7.911E-11	2.154E-21
0.7	9.234E-07	7.7053E-16	7.6745E-07	5.77E-15	4.854E-05	7.72079E-16
0.9	3.98E-07	5.5467E-15	4.7954E-07	9.17E-14	5.799E-05	7.82713E-15
1.1	9.782E-06	1.2014E-13	2.5312E-06	1.71E-11	0.0002918	3.93151E-13
1.3	9.51E-06	1.212E-12	8.8124E-07	9.35E-09	8.584E-05	3.19355E-10
1.5	5.857E-05	6.3581E-14	2.9495E-06	3.2E-11	0.0002529	8.17221E-12
1.7	7.709E-06	3.6863E-14	1.8872E-07	1.47E-11	1.82E-05	5.10287E-13
1.9	1.714E-06	1.2683E-14	1.9222E-08	1.49E-12	2.832E-06	3.30701E-13
2.1	6.293E-08	1.5194E-15	6.5443E-10	1.91E-13	6.875E-08	1.09716E-13
2.3	2.382E-09	3.6057E-16	5.3313E-12	3.31E-14	1.989E-09	1.25128E-15

Lokasi V-Heading 0

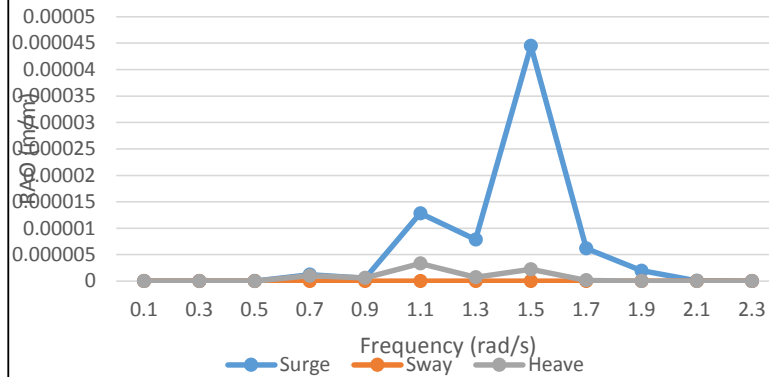
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	6.446E-08	5.3793E-17	5.3578E-08	4.03E-16	3.389E-06	5.3901E-17
0.9	2.779E-08	3.8723E-16	3.3478E-08	6.4E-15	4.048E-06	5.46431E-16
1.1	4.723E-06	5.8009E-14	1.2221E-06	8.25E-12	0.0001409	1.89823E-13
1.3	4.469E-06	5.6952E-13	4.1411E-07	4.39E-09	4.034E-05	1.5007E-10
1.5	2.543E-05	2.7608E-14	1.2807E-06	1.39E-11	0.0001098	3.54856E-12
1.7	5.126E-06	2.4511E-14	1.2548E-07	9.77E-12	1.21E-05	3.39301E-13
1.9	2.432E-06	1.7991E-14	2.7268E-08	2.11E-12	4.018E-06	4.69118E-13
2.1	1.113E-07	2.6864E-15	1.1571E-09	3.38E-13	1.216E-07	1.93984E-13
2.3	4.507E-09	6.8244E-16	1.009E-11	6.26E-14	3.764E-09	2.36824E-15

Lokasi VI-Heading 0

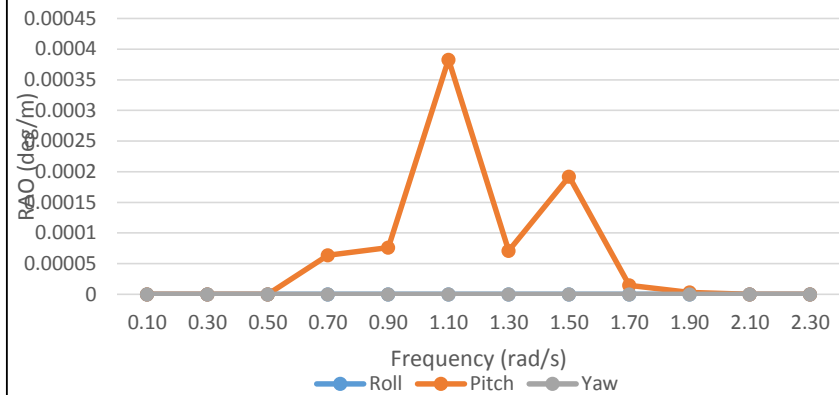
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	4.104E-08	4.4034E-19	4.5407E-08	1.43E-19	9.77E-09	1.46897E-18
0.5	0.0109416	5.3708E-14	0.01623022	3.07E-13	0.0277241	7.5487E-13
0.7	0.0006372	5.3175E-13	0.00052962	3.98E-12	0.0335014	5.3282E-13
0.9	0.0001348	1.8787E-12	0.00016242	3.11E-11	0.0196411	2.6511E-12
1.1	5.248E-05	6.4455E-13	1.3579E-05	9.16E-11	0.0015656	2.10917E-12
1.3	8.516E-07	1.0853E-13	7.8912E-08	8.37E-10	7.687E-06	2.85972E-11
1.5	2.39E-06	2.594E-15	1.2034E-07	1.31E-12	1.032E-05	3.33418E-13
1.7	2.426E-07	1.1601E-15	5.939E-09	4.63E-13	5.728E-07	1.60587E-14
1.9	7.838E-08	5.7991E-16	8.7893E-10	6.81E-14	1.295E-07	1.51212E-14
2.1	2.233E-09	5.3919E-17	2.3223E-11	6.79E-15	2.44E-09	3.8934E-15
2.3	6.844E-11	1.0362E-17	1.5321E-13	9.5E-16	5.715E-11	3.59584E-17



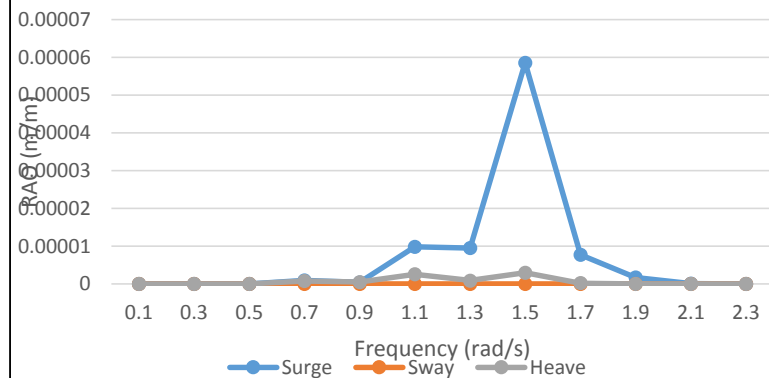
Heading 0 degree (Lokasi III)



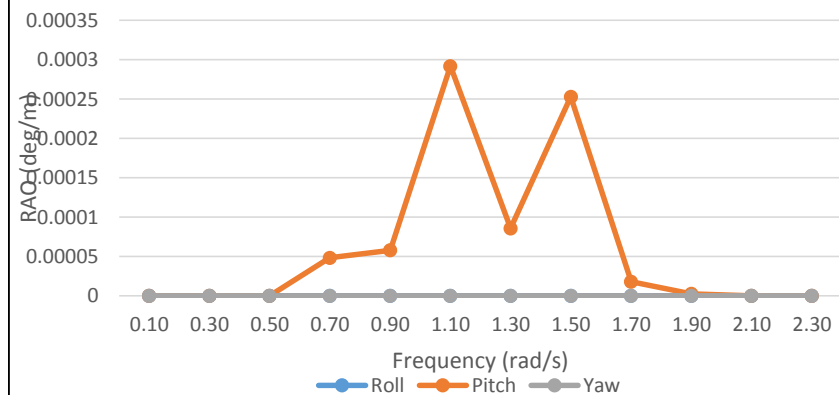
Heading 0 degree (Lokasi III)



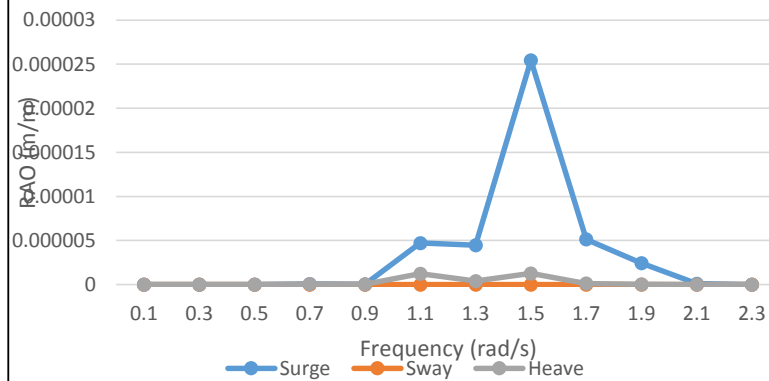
Heading 0 degree (Lokasi IV)



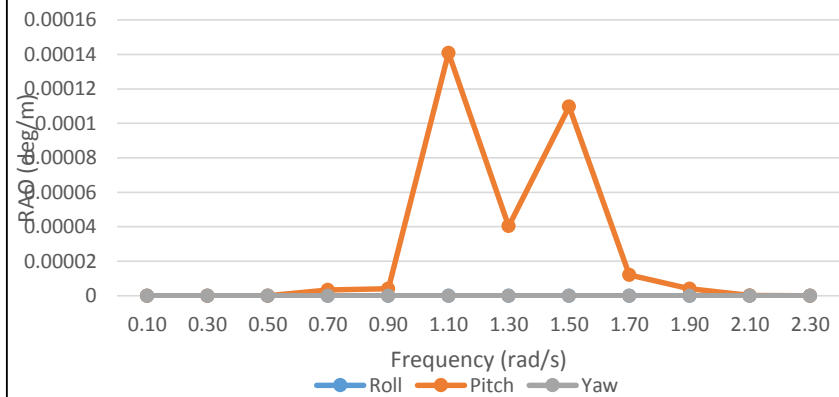
Heading 0 degree (Lokasi IV)



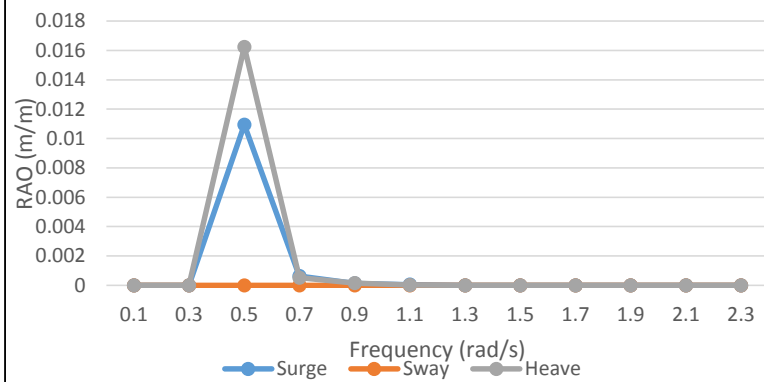
Heading 0 degree (Lokasi V)



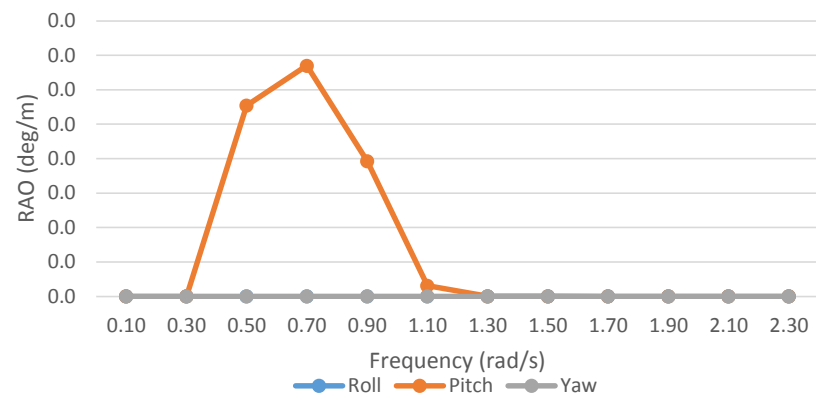
Heading 0 degree (Lokasi V)



Heading 0 degree (Lokasi VI)



Heading 0 degree (Lokasi VI)



III. Respon Spektra Heading 45 Degree

Lokasi I-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	2.908E-11	3.5926E-11	8.5929E-11	3.74E-11	6.334E-11	3.97807E-11
0.7	7.893E-06	1.0512E-05	3.2584E-05	4.05E-05	0.0001258	4.521E-05
0.9	3.311E-07	2.3261E-09	3.256E-07	4.06E-06	9.456E-05	2.01228E-05
1.1	5.985E-06	1.1709E-05	3.2144E-06	0.000805	0.0002005	1.58591E-06
1.3	2.064E-06	3.6001E-07	3.8514E-07	0.000249	2.752E-05	9.50942E-05
1.5	6.939E-06	8.706E-07	4.4297E-07	0.00089	3.27E-05	5.2358E-05
1.7	2.152E-09	2.8302E-07	1.1404E-09	7.17E-05	5.514E-11	5.04791E-06
1.9	8.8E-08	8.8288E-08	6.8155E-10	6.4E-06	1.171E-07	2.34699E-07
2.1	4.119E-09	2.253E-09	2.0222E-11	1.31E-07	3.41E-09	3.98132E-10
2.3	4.471E-12	1.6123E-11	9.6045E-15	5.02E-10	3.83E-12	1.14167E-10

Lokasi II-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0.0008676	0.00091473	0.0019117	0.000134	0.0002032	0.000173301
0.5	0.0214838	0.02654031	0.06347894	0.027604	0.0467883	0.029387553
0.7	0.015966	0.02126451	0.06591141	0.081883	0.2543974	0.091451247
0.9	0.0001796	1.2616E-06	0.00017659	0.002201	0.0512872	0.010913629
1.1	2.232E-05	4.3669E-05	1.1988E-05	0.003002	0.0007479	5.91482E-06
1.3	2.697E-07	4.7042E-08	5.0327E-08	3.25E-05	3.596E-06	1.2426E-05
1.5	4.441E-07	5.5717E-08	2.8349E-08	5.7E-05	2.093E-06	3.35081E-06
1.7	1.087E-10	1.4293E-08	5.7592E-11	3.62E-06	2.785E-12	2.54935E-07
1.9	6.54E-09	6.5612E-09	5.065E-11	4.75E-07	8.701E-09	1.7442E-08
2.1	2.421E-10	1.3241E-10	1.1885E-12	7.69E-09	2.004E-10	2.33987E-11
2.3	2.143E-13	7.7271E-13	4.603E-16	2.41E-11	1.836E-13	5.47152E-12

Lokasi III-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	3.013E-11	3.7222E-11	8.9028E-11	3.87E-11	6.562E-11	4.12154E-11
0.7	8.178E-06	1.0891E-05	3.3759E-05	4.19E-05	0.0001303	4.68401E-05
0.9	3.43E-07	2.41E-09	3.3734E-07	4.2E-06	9.798E-05	2.08486E-05
1.1	6.193E-06	1.2117E-05	3.3264E-06	0.000833	0.0002075	1.64117E-06
1.3	1.347E-06	2.3506E-07	2.5147E-07	0.000162	1.797E-05	6.209E-05
1.5	4.157E-06	5.2156E-07	2.6538E-07	0.000533	1.959E-05	3.13669E-05
1.7	1.366E-09	1.7964E-07	7.2383E-10	4.55E-05	3.5E-11	3.20407E-06
1.9	7.993E-08	8.019E-08	6.1904E-10	5.81E-06	1.063E-07	2.13174E-07
2.1	4.058E-09	2.2196E-09	1.9922E-11	1.29E-07	3.359E-09	3.92223E-10
2.3	4.325E-12	1.5597E-11	9.291E-15	4.86E-10	3.705E-12	1.10439E-10

Lokasi IV-Heading 45

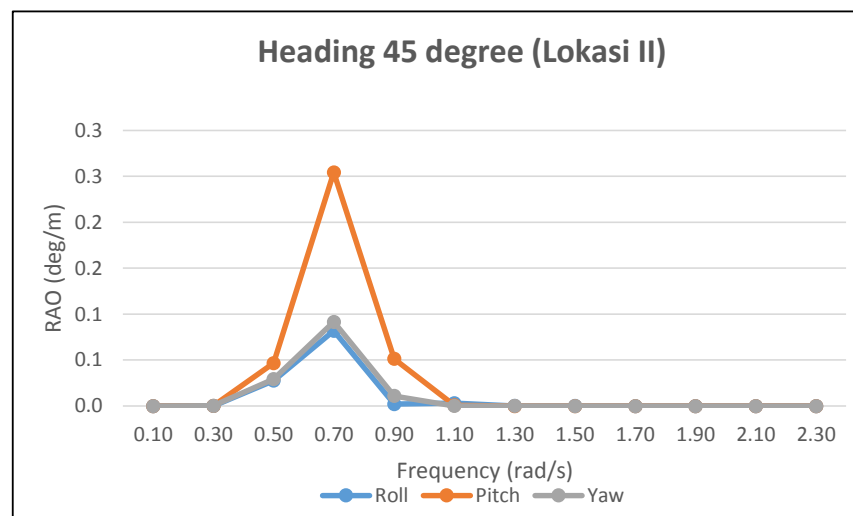
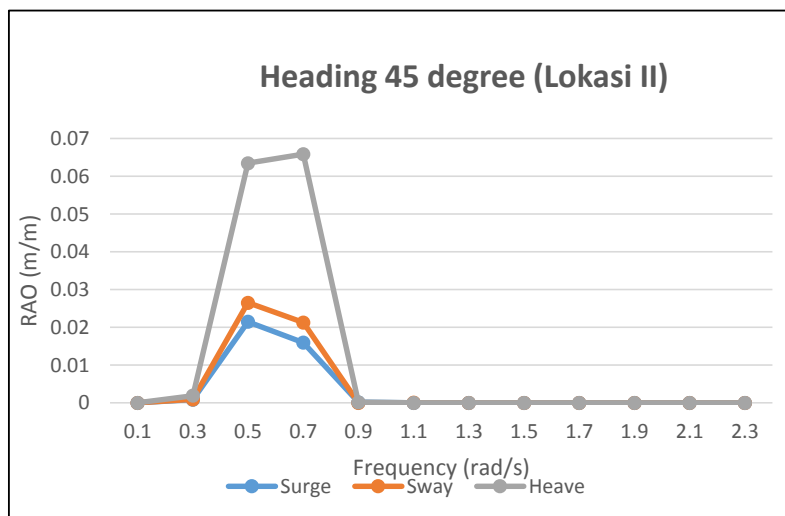
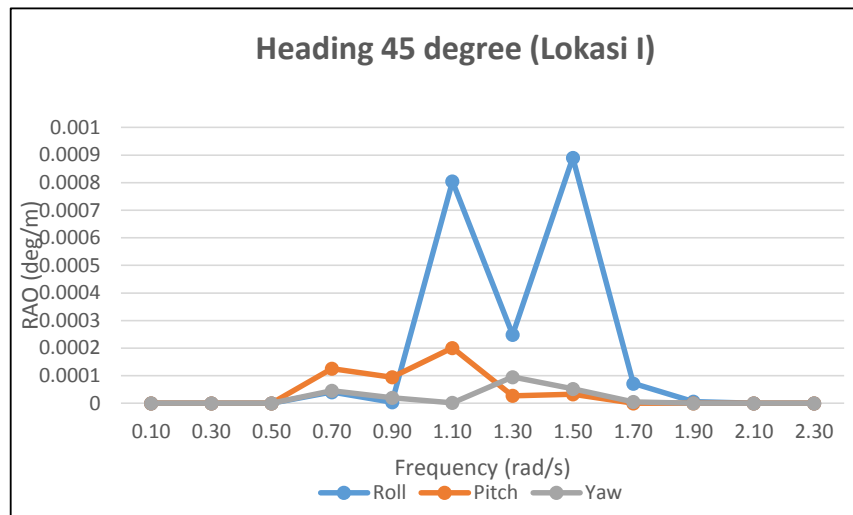
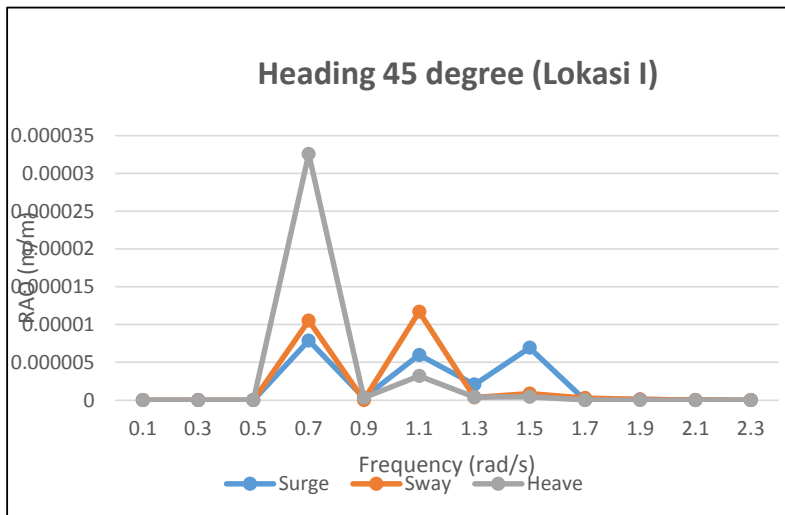
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	2.294E-11	2.8335E-11	6.7771E-11	2.95E-11	4.995E-11	3.13744E-11
0.7	6.225E-06	8.291E-06	2.5699E-05	3.19E-05	9.919E-05	3.56566E-05
0.9	2.611E-07	1.8346E-09	2.5679E-07	3.2E-06	7.458E-05	1.58706E-05
1.1	4.72E-06	9.2346E-06	2.5351E-06	0.000635	0.0001582	1.25079E-06
1.3	1.628E-06	2.8393E-07	3.0376E-07	0.000196	2.17E-05	7.49995E-05
1.5	5.473E-06	6.8663E-07	3.4937E-07	0.000702	2.579E-05	4.1294E-05
1.7	1.697E-09	2.2321E-07	8.9939E-10	5.66E-05	4.349E-11	3.9812E-06
1.9	6.941E-08	6.9631E-08	5.3753E-10	5.05E-06	9.234E-08	1.85103E-07
2.1	3.248E-09	1.7769E-09	1.5949E-11	1.03E-07	2.689E-09	3.14E-10
2.3	3.526E-12	1.2716E-11	7.5749E-15	3.96E-10	3.021E-12	9.00414E-11

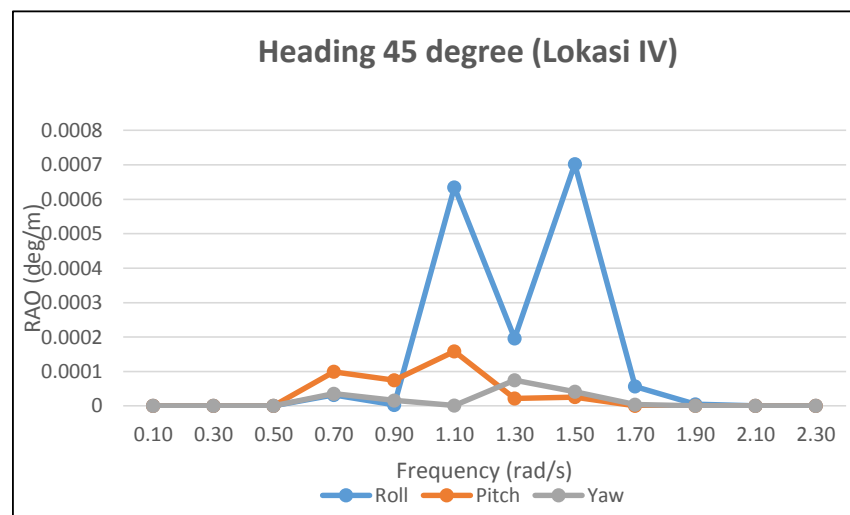
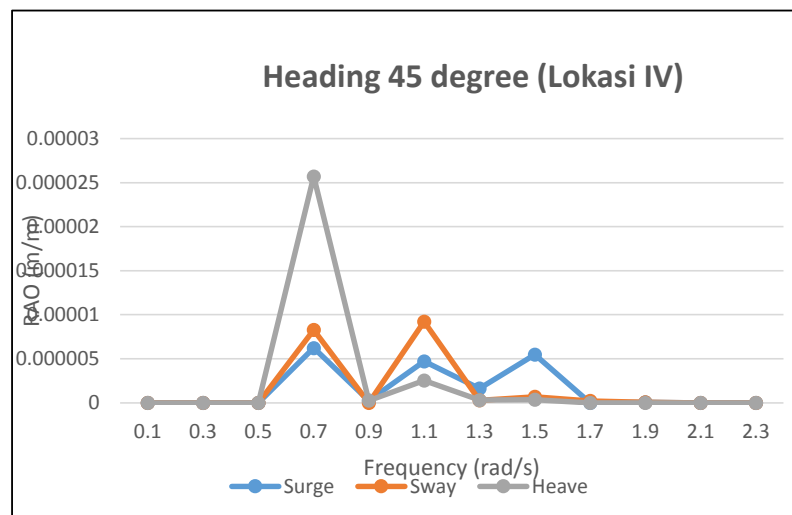
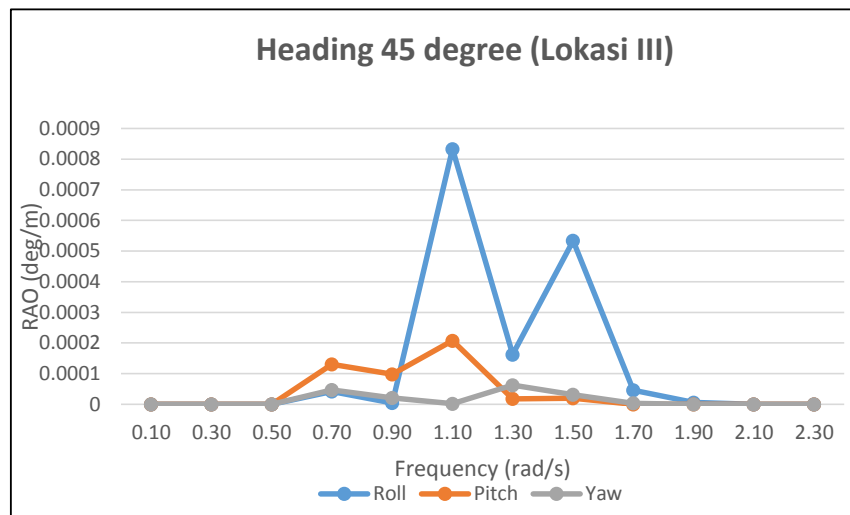
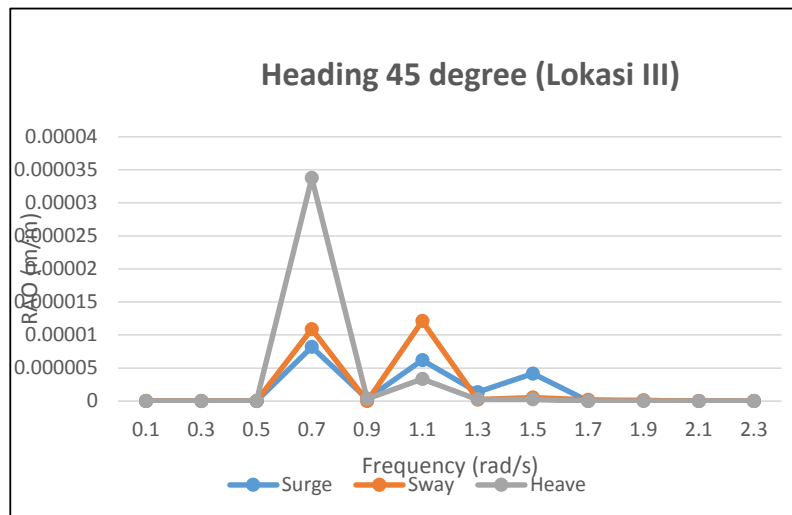
Lokasi V-Heading 45

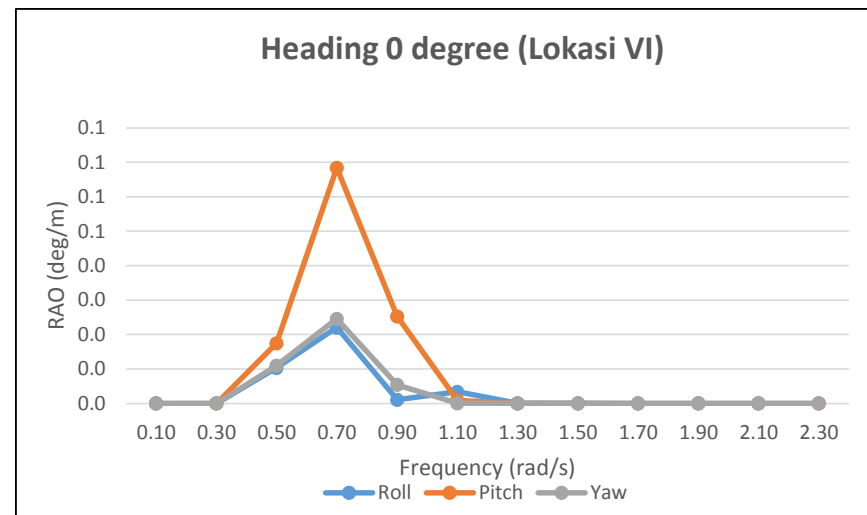
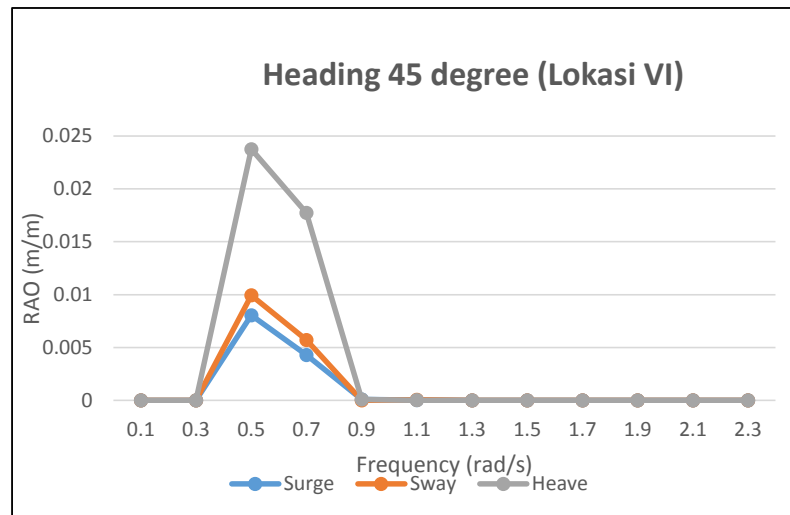
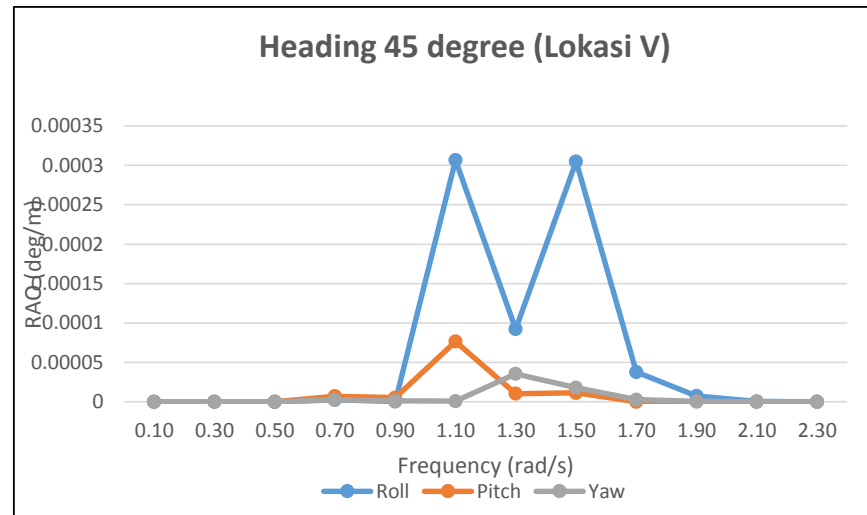
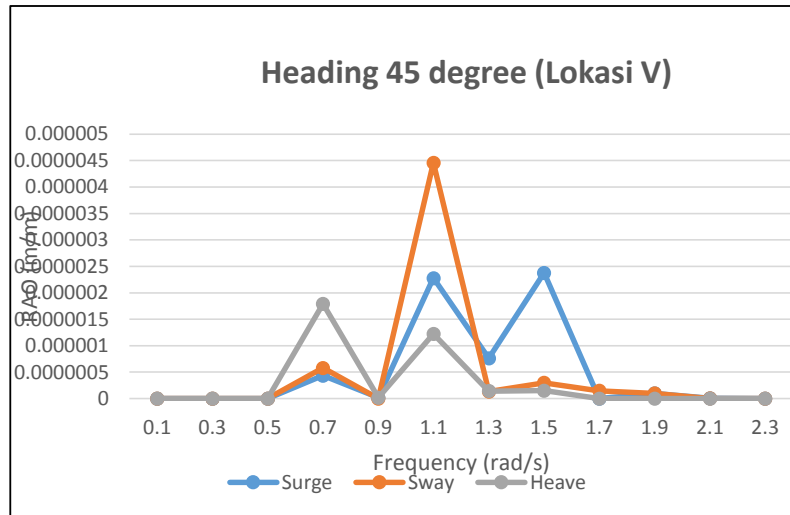
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	4.346E-07	5.7882E-07	1.7941E-06	2.23E-06	6.925E-06	2.48928E-06
0.9	1.823E-08	1.2808E-10	1.7927E-08	2.23E-07	5.207E-06	1.10796E-06
1.1	2.279E-06	4.4587E-06	1.224E-06	0.000307	7.636E-05	6.03909E-07
1.3	7.648E-07	1.3342E-07	1.4274E-07	9.21E-05	1.02E-05	3.52433E-05
1.5	2.377E-06	2.9815E-07	1.517E-07	0.000305	1.12E-05	1.79308E-05
1.7	1.128E-09	1.4842E-07	5.9803E-10	3.76E-05	2.892E-11	2.64718E-06
1.9	9.846E-08	9.8775E-08	7.6251E-10	7.16E-06	1.31E-07	2.62579E-07
2.1	5.743E-09	3.1417E-09	2.8198E-11	1.82E-07	4.754E-09	5.5517E-10
2.3	6.674E-12	2.4067E-11	1.4337E-14	7.49E-10	5.717E-12	1.70418E-10

Lokasi VI-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	2.143E-08	2.26E-08	4.7231E-08	3.3E-09	5.019E-09	4.28162E-09
0.5	0.0080381	0.00992991	0.0237503	0.010328	0.0175056	0.010995194
0.7	0.004296	0.00572168	0.01773492	0.022032	0.0684512	0.024606975
0.9	8.844E-05	6.2138E-07	8.6978E-05	0.001084	0.0252613	0.005375464
1.1	2.532E-05	4.9542E-05	1.36E-05	0.003406	0.0008485	6.71019E-06
1.3	1.457E-07	2.5425E-08	2.7201E-08	1.76E-05	1.943E-06	6.71596E-06
1.5	2.233E-07	2.8014E-08	1.4254E-08	2.87E-05	1.052E-06	1.68475E-06
1.7	5.34E-11	7.0245E-09	2.8304E-11	1.78E-06	1.369E-12	1.25288E-07
1.9	3.174E-09	3.1839E-09	2.4578E-11	2.31E-07	4.222E-09	8.4638E-09
2.1	1.153E-10	6.3056E-11	5.6596E-13	3.66E-09	9.542E-11	1.11427E-11
2.3	1.013E-13	3.6542E-13	2.1768E-16	1.14E-11	8.681E-14	2.58755E-12







III. Respon Spektra Heading 90 Degree

Lokasi I-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.849E-14	9.2174E-11	6.0471E-11	9.3E-11	5.684E-13	2.56203E-12
0.7	1.489E-07	5.9845E-05	4.9452E-05	9.71E-05	8.191E-06	1.32063E-06
0.9	7.649E-08	2.9574E-05	1.5921E-05	0.000197	6.133E-06	1.1575E-06
1.1	2.928E-08	0.00020483	3.1422E-05	0.005263	3.789E-06	1.07176E-05
1.3	1.68E-09	6.0805E-06	4.9222E-06	0.033531	2.917E-07	4.06437E-07
1.5	6.365E-10	0.00036999	1.1355E-05	0.036933	4.08E-07	2.57019E-05
1.7	1.448E-11	7.5879E-05	1.8678E-08	0.010371	4.428E-10	5.46841E-06
1.9	4.447E-12	1.7669E-05	2.3347E-08	0.001336	3.886E-10	1.26611E-06
2.1	2.314E-14	7.7087E-07	1.7662E-10	4.19E-05	2.425E-12	5.26696E-08
2.3	1.367E-15	2.2328E-08	5.5763E-12	9.97E-07	5.24E-14	1.51165E-09

Lokasi II-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	1.532E-08	0.00189015	0.0019884	0.000263	5.659E-07	6.28991E-05
0.5	1.366E-05	0.06809243	0.04467199	0.068677	0.0004199	0.001892674
0.7	0.0003013	0.12105422	0.1000315	0.19635	0.0165695	0.002671383
0.9	4.149E-05	0.01603953	0.008635	0.106995	0.0033261	0.000627771
1.1	1.092E-07	0.00076393	0.00011719	0.01963	1.413E-05	3.99726E-05
1.3	2.196E-10	7.9454E-07	6.4318E-07	0.004382	3.812E-08	5.31095E-08
1.5	4.074E-11	2.3679E-05	7.2667E-07	0.002364	2.611E-08	1.64487E-06
1.7	7.315E-13	3.8321E-06	9.4331E-10	0.000524	2.236E-11	2.76171E-07
1.9	3.305E-13	1.3131E-06	1.7351E-09	9.93E-05	2.888E-11	9.40925E-08
2.1	1.36E-15	4.5305E-08	1.038E-11	2.46E-06	1.425E-13	3.09545E-09
2.3	6.552E-17	1.0701E-09	2.6725E-13	4.78E-08	2.511E-15	7.24467E-11

Lokasi III-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.916E-14	9.5498E-11	6.2651E-11	9.63E-11	5.889E-13	2.65443E-12
0.7	1.543E-07	6.2002E-05	5.1235E-05	0.000101	8.487E-06	1.36825E-06
0.9	7.925E-08	3.0641E-05	1.6496E-05	0.000204	6.354E-06	1.19925E-06
1.1	3.03E-08	0.00021197	3.2517E-05	0.005447	3.921E-06	1.10911E-05
1.3	1.097E-09	3.9701E-06	3.2138E-06	0.021893	1.905E-07	2.65376E-07
1.5	3.813E-10	0.00022166	6.8023E-06	0.022126	2.444E-07	1.53977E-05
1.7	9.194E-12	4.8163E-05	1.1856E-08	0.006583	2.81E-10	3.47097E-06
1.9	4.039E-12	1.6048E-05	2.1206E-08	0.001213	3.53E-10	1.14999E-06
2.1	2.279E-14	7.5942E-07	1.74E-10	4.13E-05	2.389E-12	5.18878E-08
2.3	1.323E-15	2.1599E-08	5.3942E-12	9.65E-07	5.069E-14	1.4623E-09

Lokasi IV-Heading 90

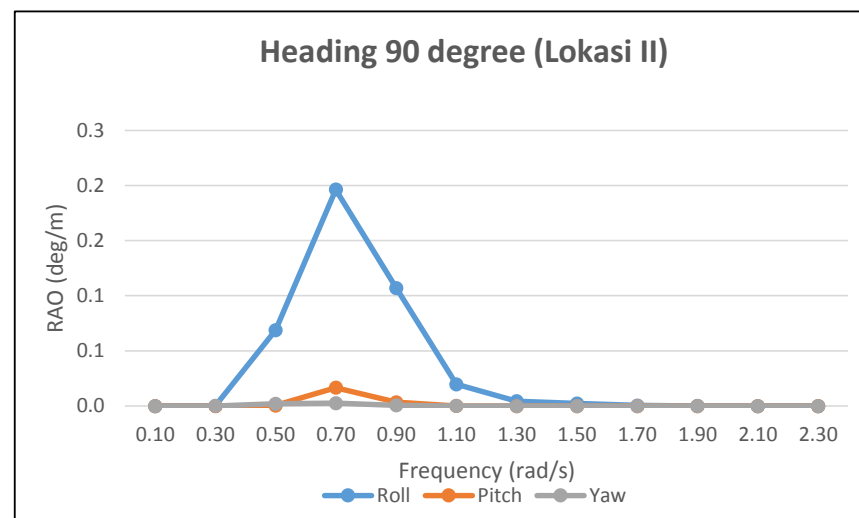
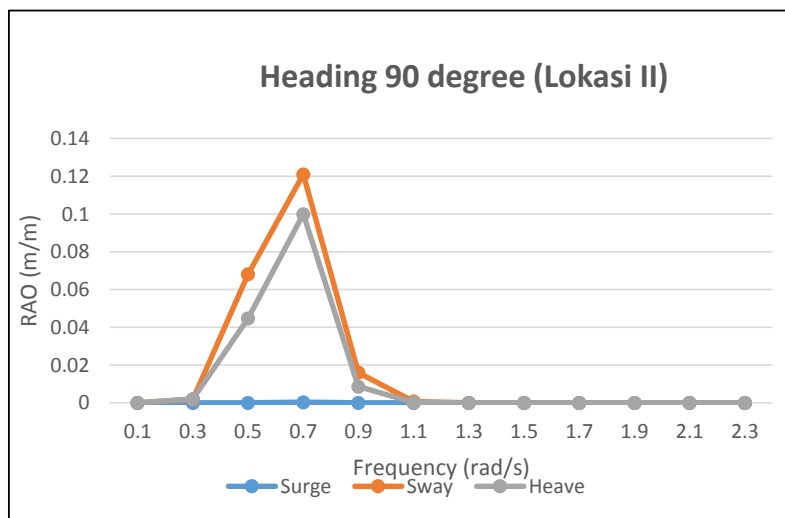
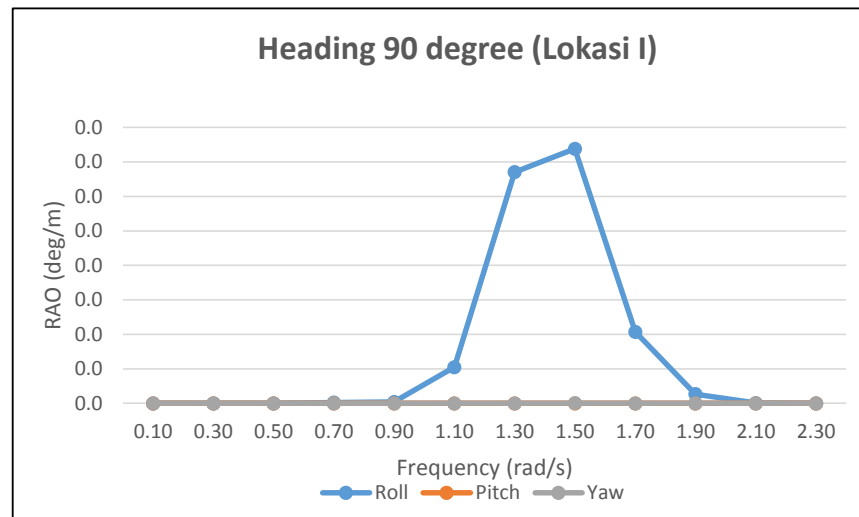
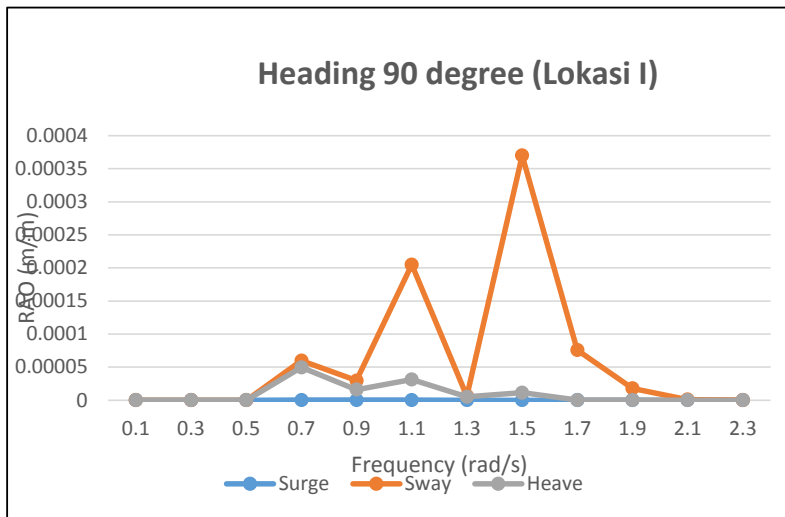
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.458E-14	7.2696E-11	4.7692E-11	7.33E-11	4.483E-13	2.02064E-12
0.7	1.175E-07	4.7199E-05	3.9002E-05	7.66E-05	6.46E-06	1.04156E-06
0.9	6.033E-08	2.3325E-05	1.2557E-05	0.000156	4.837E-06	9.12903E-07
1.1	2.309E-08	0.00016155	2.4782E-05	0.004151	2.988E-06	8.45285E-06
1.3	1.325E-09	4.7956E-06	3.882E-06	0.026445	2.301E-07	3.20552E-07
1.5	5.02E-10	0.00029181	8.9551E-06	0.029129	3.218E-07	2.02707E-05
1.7	1.142E-11	5.9844E-05	1.4731E-08	0.00818	3.492E-10	4.31284E-06
1.9	3.507E-12	1.3935E-05	1.8413E-08	0.001053	3.065E-10	9.98558E-07
2.1	1.825E-14	6.0797E-07	1.393E-10	3.3E-05	1.912E-12	4.15396E-08
2.3	1.078E-15	1.761E-08	4.3979E-12	7.87E-07	4.133E-14	1.19221E-09

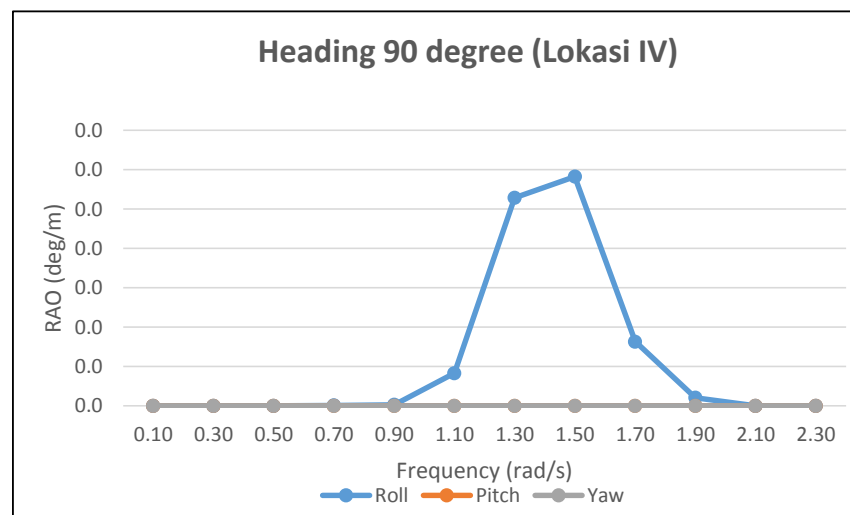
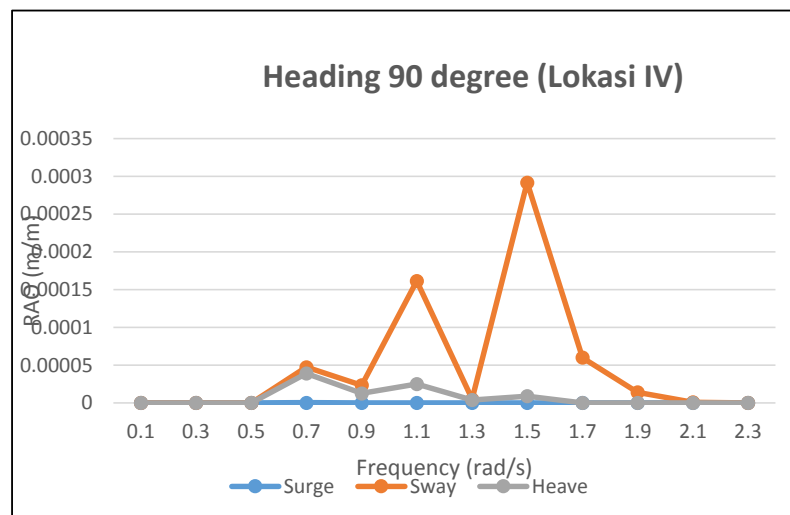
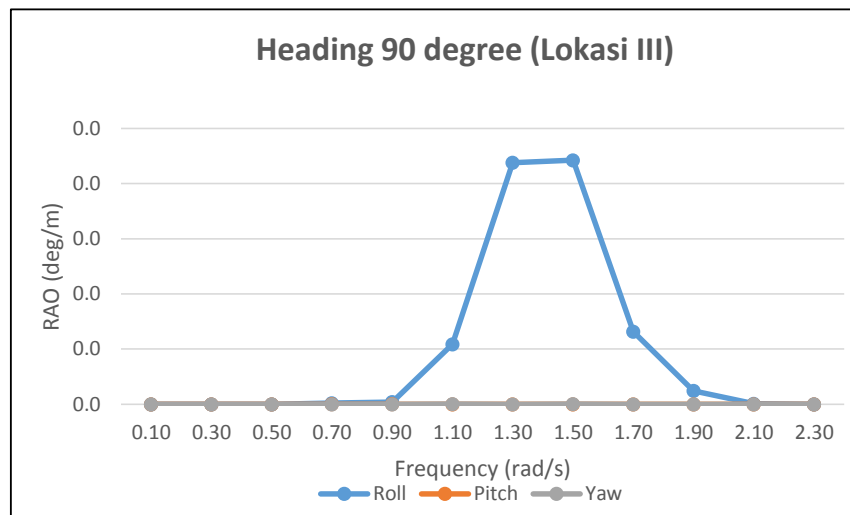
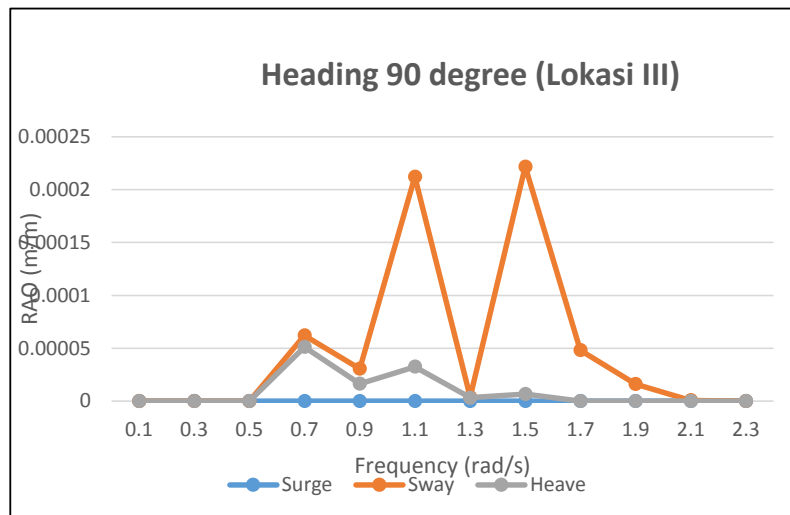
Lokasi V-Heading 90

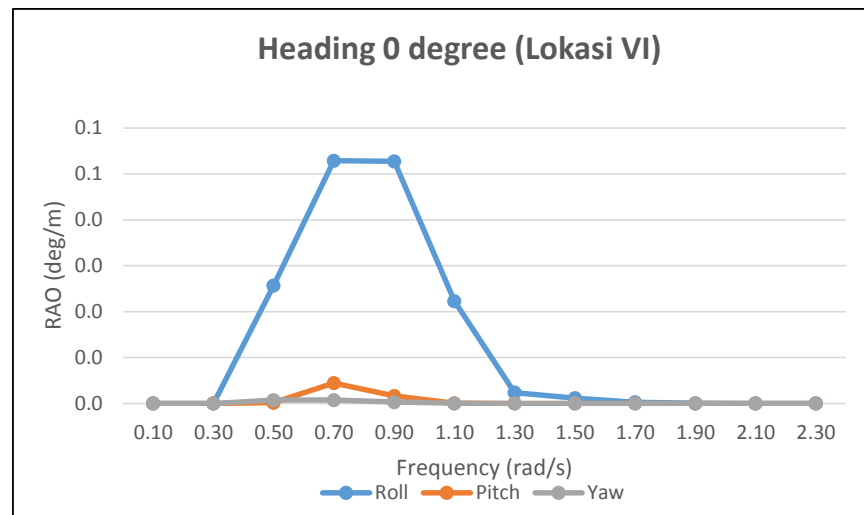
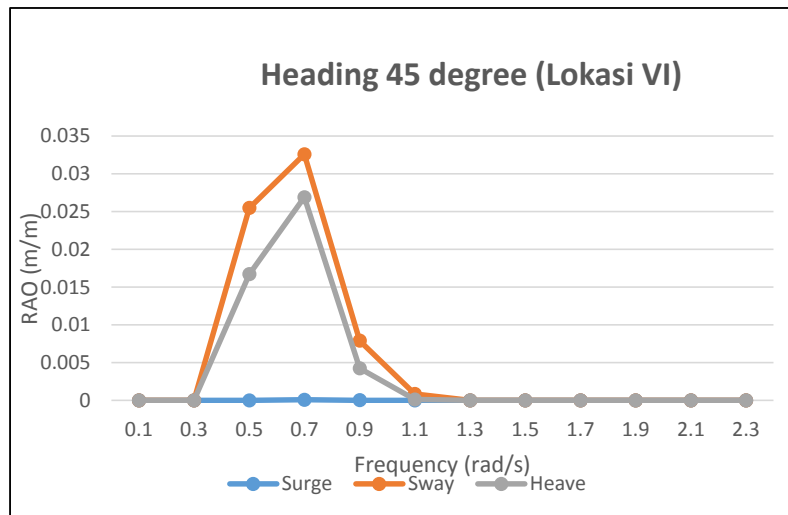
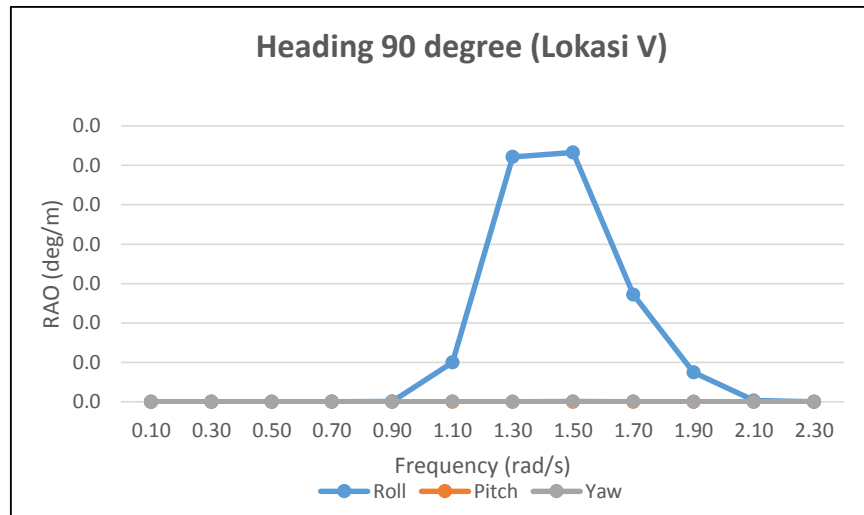
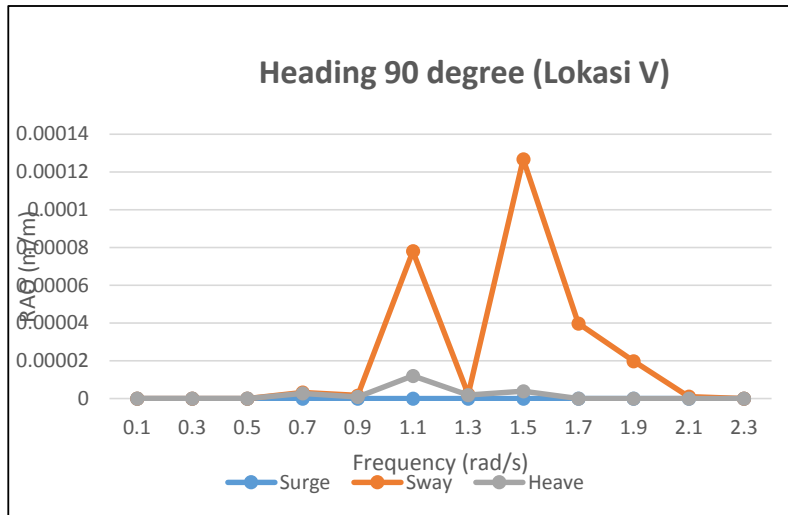
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	8.201E-09	3.2951E-06	2.7228E-06	5.34E-06	4.51E-07	7.27145E-08
0.9	4.212E-09	1.6284E-06	8.7663E-07	1.09E-05	3.377E-07	6.3732E-08
1.1	1.115E-08	7.7998E-05	1.1965E-05	0.002004	1.443E-06	4.08124E-06
1.3	6.227E-10	2.2535E-06	1.8242E-06	0.012427	1.081E-07	1.50632E-07
1.5	2.18E-10	0.00012671	3.8885E-06	0.012648	1.397E-07	8.80202E-06
1.7	7.596E-12	3.9792E-05	9.7952E-09	0.005439	2.322E-10	2.8677E-06
1.9	4.975E-12	1.9767E-05	2.612E-08	0.001494	4.348E-10	1.41651E-06
2.1	3.226E-14	1.0749E-06	2.4629E-10	5.84E-05	3.381E-12	7.34444E-08
2.3	2.041E-15	3.3329E-08	8.3238E-12	1.49E-06	7.822E-14	2.25645E-09


Lokasi VI-Heading 90

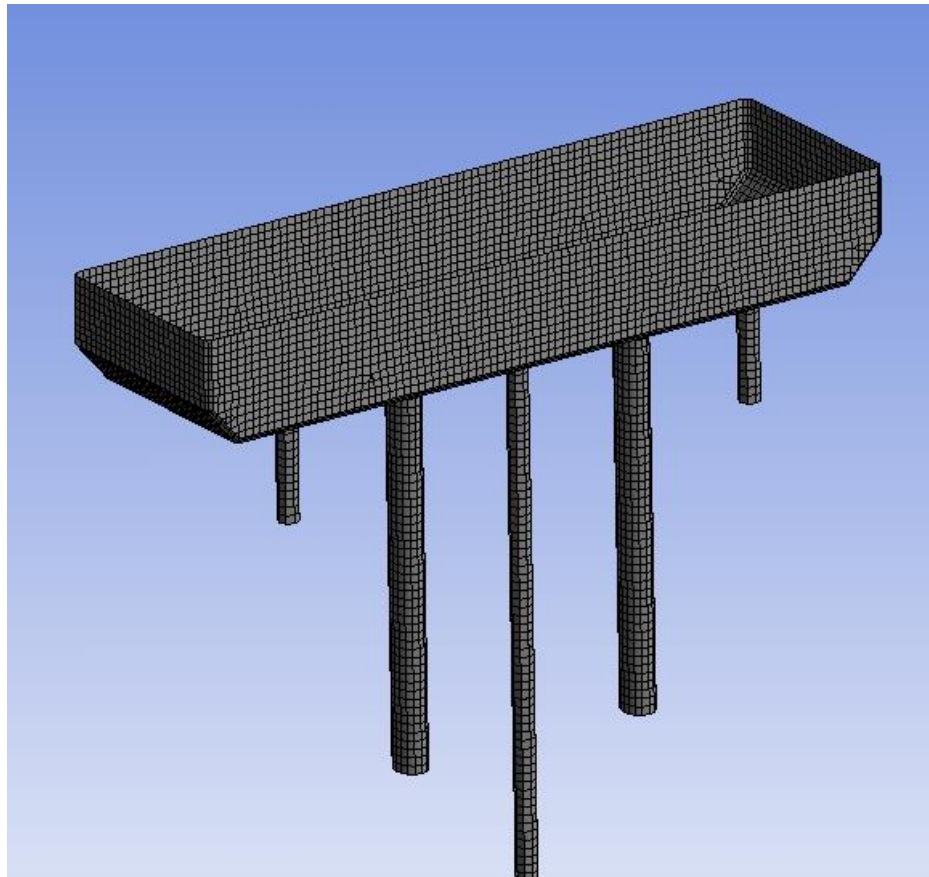
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	3.785E-13	4.6699E-08	4.9126E-08	6.49E-09	1.398E-11	1.554E-09
0.5	5.111E-06	0.02547641	0.01671378	0.025695	0.0001571	0.000708134
0.7	8.106E-05	0.03257231	0.02691568	0.052832	0.0044584	0.000718794
0.9	2.043E-05	0.00790021	0.00425313	0.0527	0.0016382	0.000309206
1.1	1.239E-07	0.00086666	0.00013295	0.02227	1.603E-05	4.53477E-05
1.3	1.187E-10	4.2943E-07	3.4762E-07	0.002368	2.06E-08	2.87043E-08
1.5	2.048E-11	1.1905E-05	3.6536E-07	0.001188	1.313E-08	8.27027E-07
1.7	3.595E-13	1.8833E-06	4.6359E-10	0.000257	1.099E-11	1.35725E-07
1.9	1.604E-13	6.3717E-07	8.4195E-10	4.82E-05	1.401E-11	4.56588E-08
2.1	6.475E-16	2.1575E-08	4.9432E-12	1.17E-06	6.787E-14	1.47408E-09
2.3	3.099E-17	5.0606E-10	1.2638E-13	2.26E-08	1.188E-15	3.4261E-11







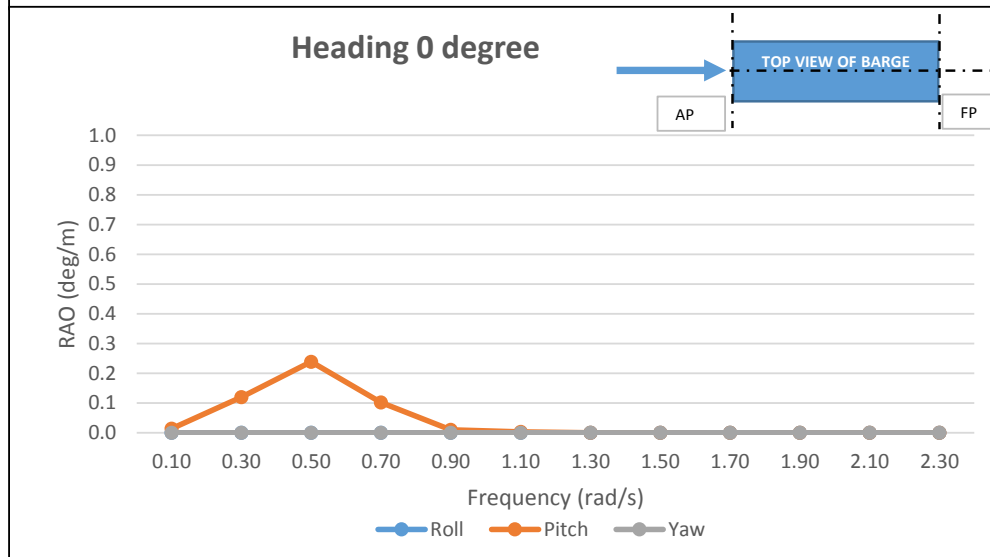
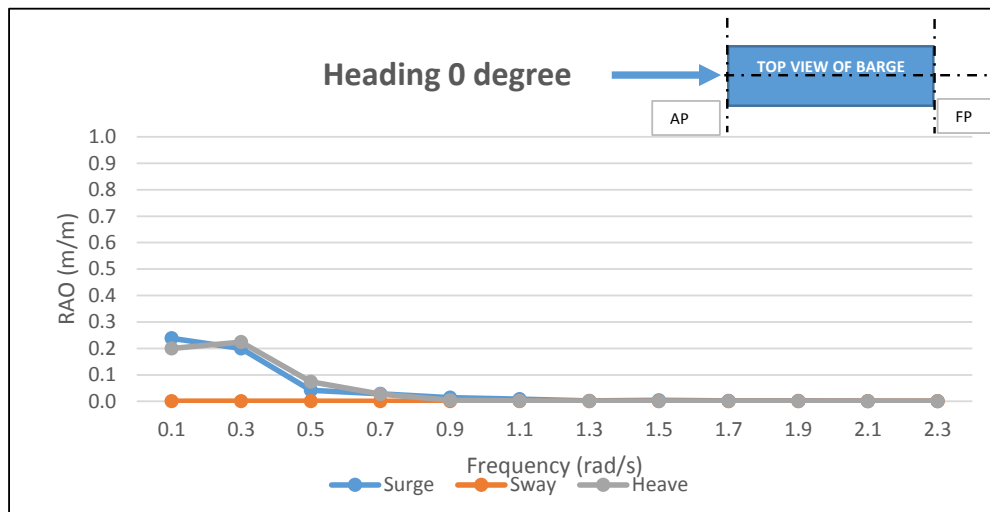
	Thesis	Nama :	Muhamad Fyan
		NRP :	4316203003
	Institut Teknologi Sepuluh Nopember Analisis RAO 50 mW (Floating)	Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia	



OTEC BARGE 50 mW				
Model			Mesh	
L	200	m	Max. Element Size (m)	1.8
B	39	m	Max. Allowed Frequency (rad/s)	2.858
H	20	m	Number of Nodes	5625
T	16	m	Number of Elements	5481
Cb	0.98		Number of Diff. Nodes	4541
LCG	58.86	m From AP	Number of Diff. Elements	4409
KG	5.06	m	Weight	
LCB	54.934	m	Lightweight (LWT)	18598.40 ton
KB	8.214	m	Deadweight (DWT)	105533.20 ton
Kxx	15.6	m	LWT+DWT	124131.60 ton
Kyy	50	m	-	-
Kzz	50	m	-	-

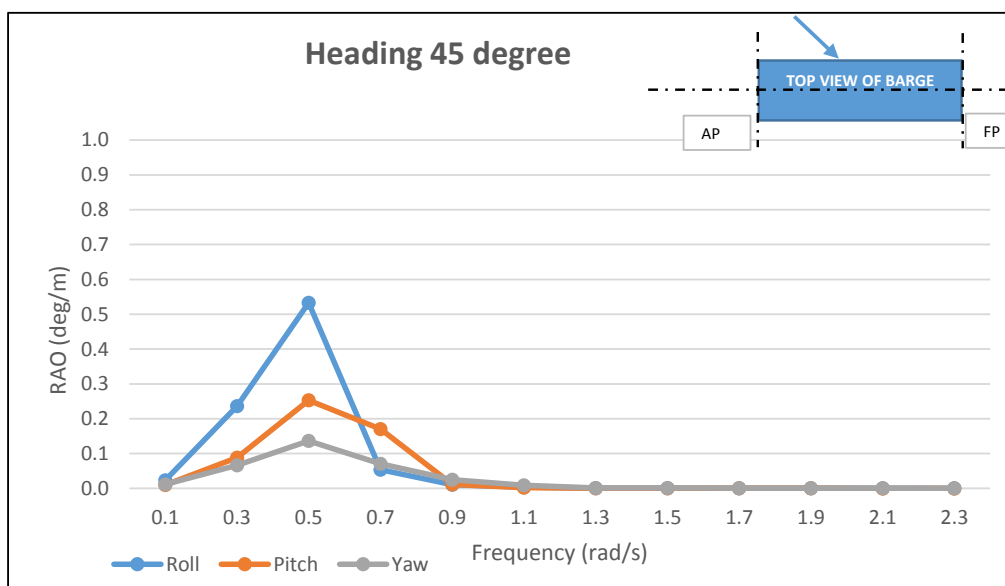
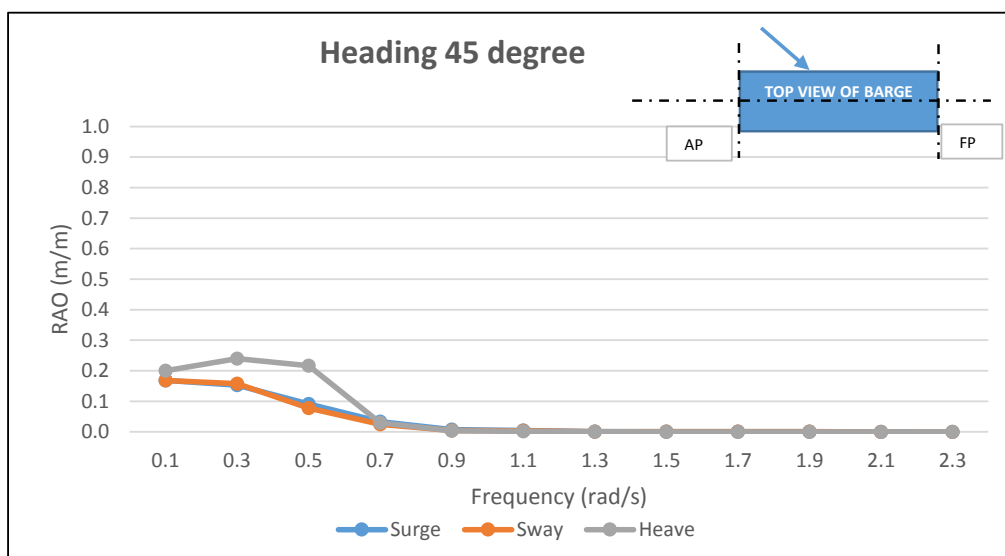
I. Heading 0 Degree

Frequency(rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.238121	0.00000128	0.199609	0.000004	0.013955	0.000000
0.3	0.199676	0.00000155	0.223837	0.000004	0.119600	0.000002
0.5	0.041238	0.00000206	0.074294	0.000006	0.238700	0.000004
0.7	0.028269	0.00000262	0.027277	0.000004	0.101978	0.000005
0.9	0.013377	0.00000175	0.004243	0.000001	0.009796	0.000003
1.1	0.008496	0.00000069	0.001143	0.000002	0.003140	0.000001
1.3	0.001904	0.00000002	0.000163	0.000000	0.000370	0.000000
1.5	0.003746	0.00000015	0.000175	0.000001	0.000424	0.000000
1.7	0.001448	0.00000025	0.000037	0.000001	0.000116	0.000000
1.9	0.000992	0.00000033	0.000011	0.000000	0.000045	0.000000
2.1	0.000315	0.00000014	0.000002	0.000000	0.000012	0.000000
2.3	0.000051	0.00000003	0.000000	0.000000	0.000002	0.000000



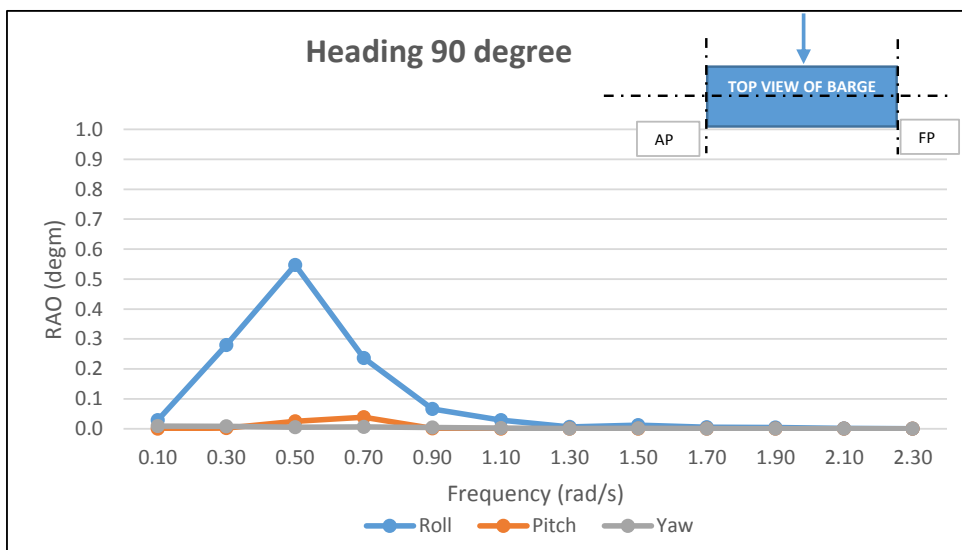
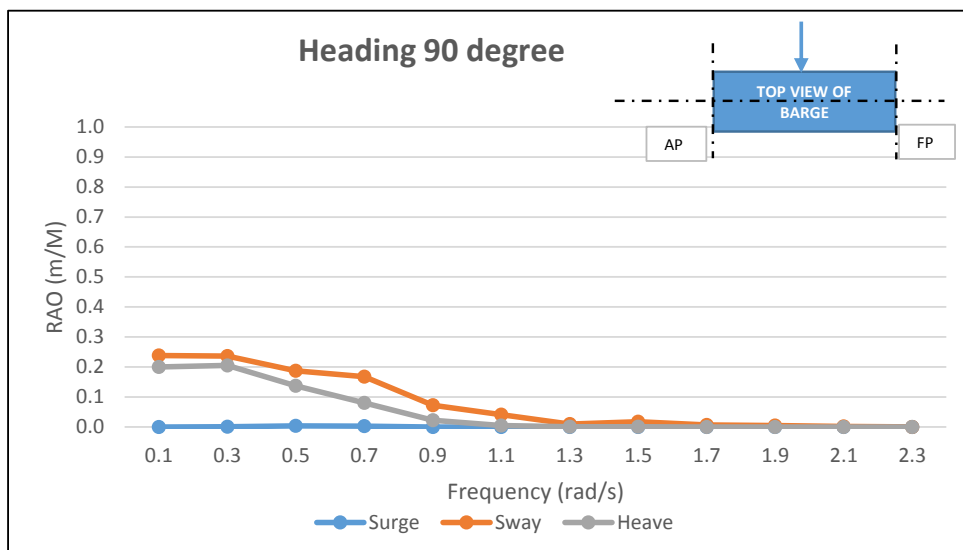
II. Heading 45 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.168602	0.168154	0.199838	0.023420	0.009875	0.011378
0.3	0.152993	0.157768	0.239806	0.236532	0.088000	0.066429
0.5	0.091178	0.077645	0.216841	0.532797	0.252896	0.136283
0.7	0.033016	0.024704	0.029749	0.053289	0.170043	0.070890
0.9	0.007711	0.004138	0.003689	0.010370	0.011529	0.025029
1.1	0.004811	0.003408	0.001168	0.003713	0.001840	0.008772
1.3	0.000641	0.000421	0.000072	0.000508	0.000154	0.001398
1.5	0.000401	0.000370	0.000014	0.000431	0.000023	0.001320
1.7	0.000248	0.000263	0.000006	0.000205	0.000019	0.000385
1.9	0.000160	0.000130	0.000002	0.000128	0.000010	0.000322
2.1	0.000004	0.000005	0.000000	0.000010	0.000002	0.000039
2.3	0.000007	0.000003	0.000001	0.000003	0.000001	0.000014



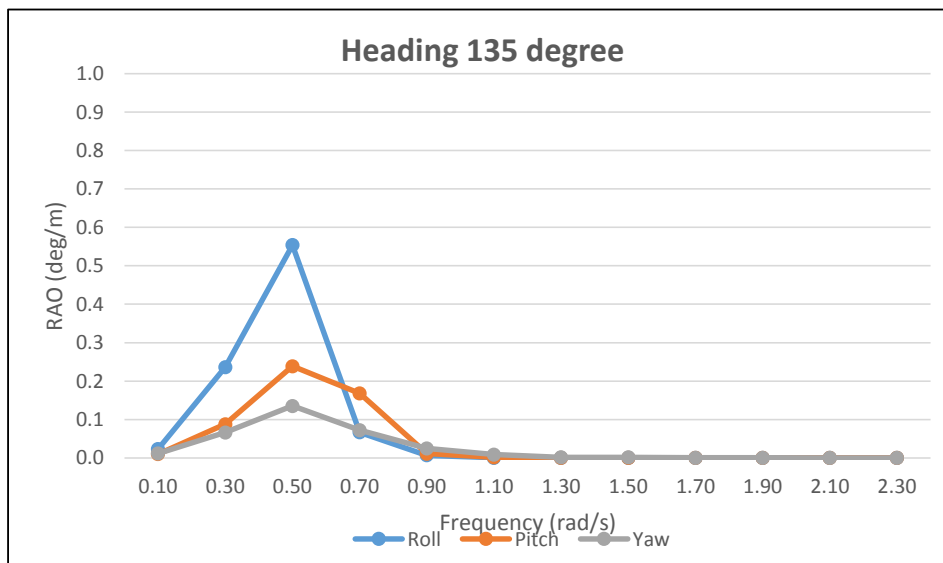
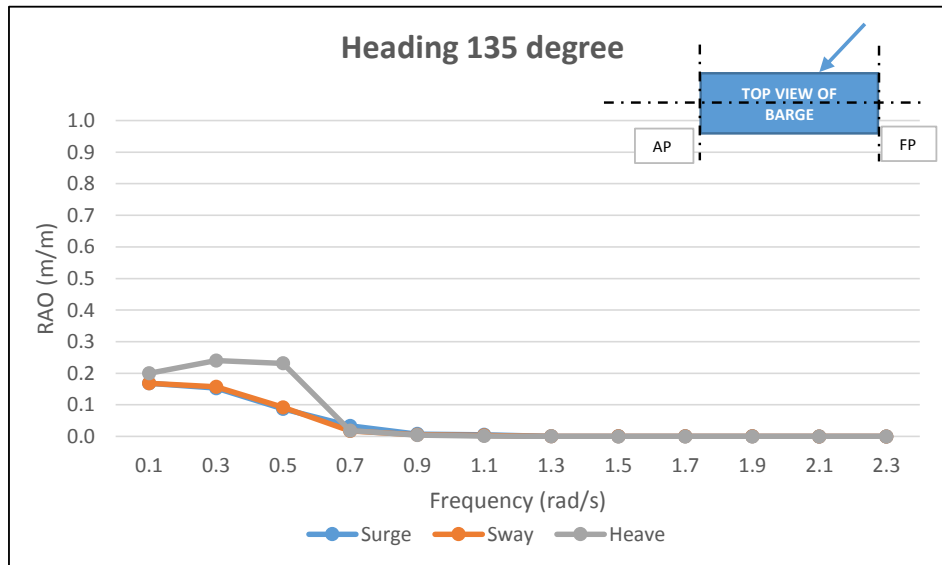
III. Heading 90 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.000025	0.238061	0.200063	0.028851	0.000177	0.008957
0.3	0.000504	0.236763	0.205199	0.279141	0.002745	0.008317
0.5	0.003567	0.187499	0.137513	0.547253	0.025317	0.005278
0.7	0.002766	0.167925	0.080602	0.236442	0.038595	0.006747
0.9	0.000066	0.072641	0.022113	0.066561	0.001527	0.003893
1.1	0.000016	0.040919	0.004852	0.028692	0.000244	0.002429
1.3	0.000001	0.009352	0.000517	0.005958	0.000022	0.000577
1.5	0.000002	0.017097	0.000341	0.011732	0.000012	0.001034
1.7	0.000000	0.006304	0.000072	0.004930	0.000002	0.000371
1.9	0.000000	0.004698	0.000004	0.004136	0.000000	0.000269
2.1	0.000000	0.001297	0.000005	0.001284	0.000000	0.000073
2.3	0.000000	0.000276	0.000002	0.000292	0.000000	0.000015



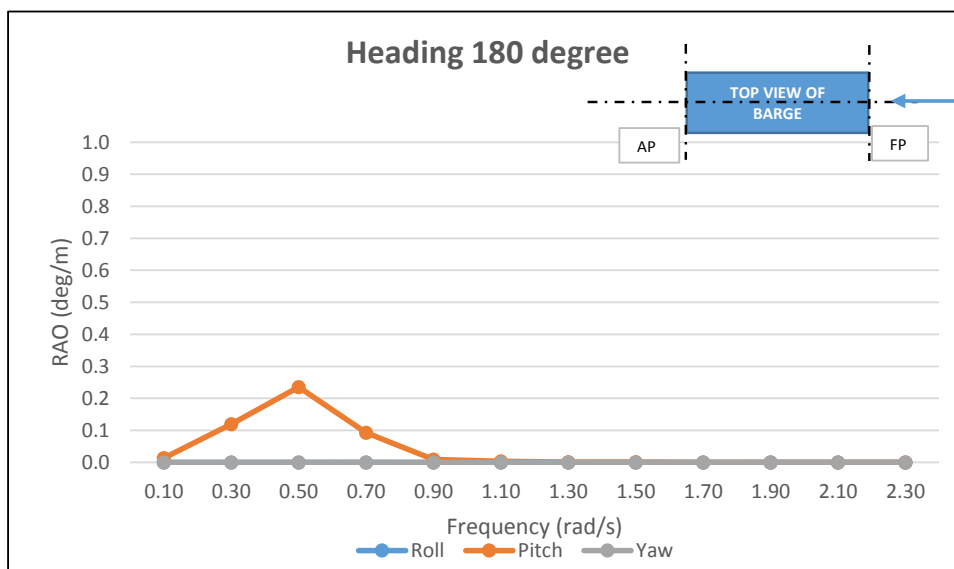
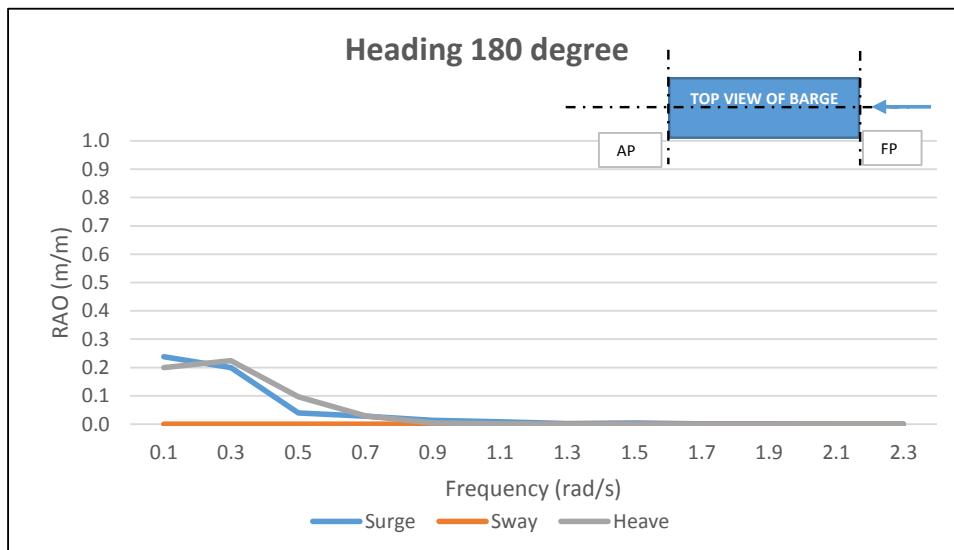
IV. Heading 135 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.168602	0.168154	0.199834	0.023422	0.009875	0.011378
0.3	0.152741	0.157306	0.240161	0.236354	0.087834	0.066411
0.5	0.087571	0.092161	0.231532	0.553971	0.238590	0.135246
0.7	0.033338	0.017640	0.018143	0.066736	0.167694	0.072335
0.9	0.007606	0.005340	0.003924	0.006748	0.011240	0.024823
1.1	0.004788	0.003683	0.001244	0.000436	0.001769	0.008641
1.3	0.000639	0.000441	0.000078	0.000141	0.000149	0.001403
1.5	0.000400	0.000346	0.000011	0.000354	0.000020	0.001360
1.7	0.000248	0.000265	0.000010	0.000226	0.000018	0.000389
1.9	0.000160	0.000129	0.000005	0.000129	0.000009	0.000323
2.1	0.000004	0.000007	0.000000	0.000011	0.000002	0.000040
2.3	0.000007	0.000003	0.000001	0.000003	0.000001	0.000014



IV. Heading 180 Degree

Frequency (rad/s)	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (deg/m)	Pitch RAO (deg/m)	Yaw RAO (deg/m)
0.1	0.238120	0.00000120	0.199604	0.000003	0.013955	0.000000
0.3	0.199439	0.00000152	0.224304	0.000005	0.119440	0.000002
0.5	0.040030	0.00000214	0.096954	0.000007	0.235254	0.000005
0.7	0.028364	0.00000405	0.029330	0.000009	0.092854	0.000002
0.9	0.013246	0.00000048	0.004488	0.000003	0.009441	0.000003
1.1	0.008464	0.00000070	0.001279	0.000002	0.003099	0.000001
1.3	0.001899	0.00000017	0.000182	0.000000	0.000366	0.000000
1.5	0.003740	0.00000038	0.000200	0.000000	0.000422	0.000001
1.7	0.001447	0.00000061	0.000043	0.000001	0.000116	0.000001
1.9	0.000992	0.00000083	0.000012	0.000001	0.000046	0.000000
2.1	0.000315	0.00000018	0.000002	0.000000	0.000012	0.000000
2.3	0.000051	0.00000007	0.000000	0.000000	0.000002	0.000000



II. Respon Spektra Heading 0 Degree

Lokasi I-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.908E-12	4.754E-21	6.1931E-12	4.16E-20	6.393E-11	2.14036E-20
0.7	5.303E-07	4.5701E-15	4.9372E-07	1.23E-14	6.901E-06	1.54388E-14
0.9	2.644E-07	4.5391E-15	2.6601E-08	2.82E-15	1.418E-07	1.09074E-14
1.1	4.028E-06	2.6226E-14	7.289E-08	3.48E-13	5.503E-07	8.60848E-14
1.3	2.441E-06	1.687E-16	1.7894E-08	1.05E-14	9.218E-08	2.3771E-14
1.5	1.465E-05	2.2068E-14	3.1859E-08	2.76E-13	1.877E-07	5.5952E-14
1.7	1.42E-06	4.373E-14	9.4682E-10	1.92E-13	9.044E-09	1.58295E-13
1.9	2.474E-07	2.7881E-14	3.298E-11	2.11E-14	5.001E-10	2.11456E-14
2.1	1.169E-08	2.3727E-15	3.0479E-13	6.42E-15	1.575E-11	1.00896E-14
2.3	2.244E-10	8.2445E-17	5.7793E-15	2.18E-16	2.865E-13	1.06895E-15

Lokasi II-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0.0012461	7.4816E-14	0.00156593	5.87E-13	0.0004471	1.0502E-13
0.5	0.0014096	3.512E-12	0.0045751	3.07E-11	0.0472281	1.58117E-11
0.7	0.0010727	9.2444E-12	0.0009987	2.49E-11	0.0139591	3.12297E-11
0.9	0.0001434	2.4618E-12	1.4427E-05	1.53E-12	7.69E-05	5.91564E-12
1.1	1.502E-05	9.7811E-14	2.7185E-07	1.3E-12	2.052E-06	3.21063E-13
1.3	3.189E-07	2.2044E-17	2.3382E-09	1.37E-15	1.205E-08	3.10617E-15
1.5	9.379E-07	1.4123E-15	2.0389E-09	1.76E-14	1.201E-08	3.58082E-15
1.7	7.171E-08	2.2085E-15	4.7817E-11	9.7E-15	4.567E-10	7.99437E-15
1.9	1.838E-08	2.072E-15	2.4509E-12	1.57E-15	3.717E-11	1.57146E-15
2.1	6.869E-10	1.3945E-16	1.7913E-14	3.77E-16	9.258E-13	5.92976E-16
2.3	1.075E-11	3.9512E-18	2.7698E-16	1.05E-17	1.373E-14	5.12303E-17

Lokasi III-Heading 0

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.977E-12	4.9255E-21	6.4165E-12	4.31E-20	6.624E-11	2.21755E-20
0.7	5.494E-07	4.7349E-15	5.1152E-07	1.28E-14	7.15E-06	1.59954E-14
0.9	2.74E-07	4.7029E-15	2.756E-08	2.92E-15	1.469E-07	1.13008E-14
1.1	4.168E-06	2.7139E-14	7.543E-08	3.6E-13	5.695E-07	8.90846E-14
1.3	1.594E-06	1.1015E-16	1.1683E-08	6.85E-15	6.019E-08	1.55208E-14
1.5	8.779E-06	1.3221E-14	1.9086E-08	1.65E-13	1.124E-07	3.352E-14
1.7	9.013E-07	2.7757E-14	6.0098E-10	1.22E-13	5.74E-09	1.00475E-13
1.9	2.247E-07	2.5324E-14	2.9955E-11	1.92E-14	4.543E-10	1.92062E-14
2.1	1.151E-08	2.3375E-15	3.0026E-13	6.32E-15	1.552E-11	9.93981E-15
2.3	2.171E-10	7.9753E-17	5.5906E-15	2.11E-16	2.771E-13	1.03405E-15

Lokasi IV-Heading 0

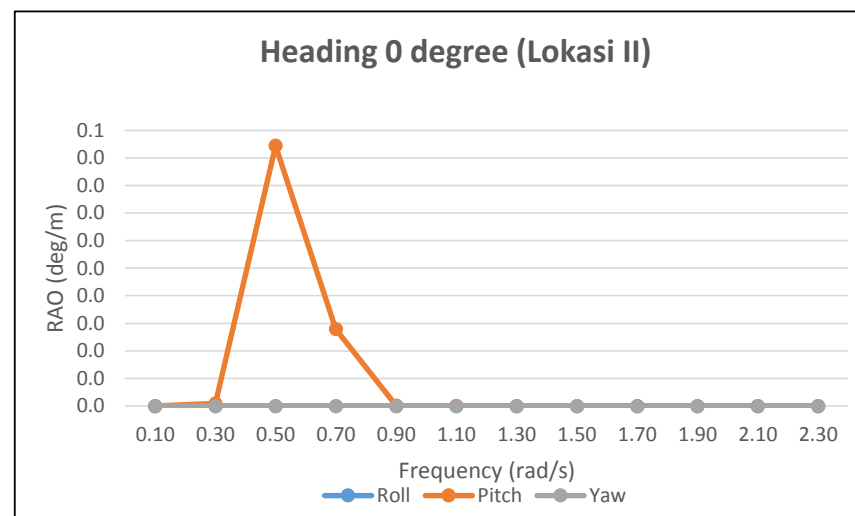
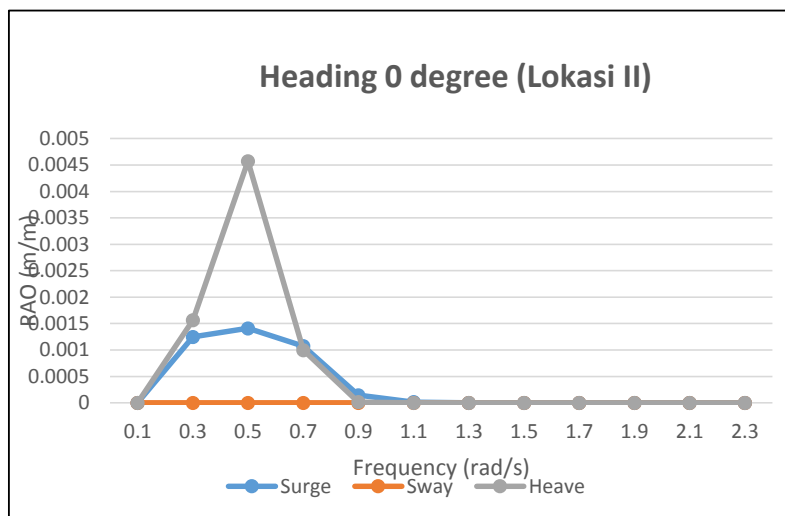
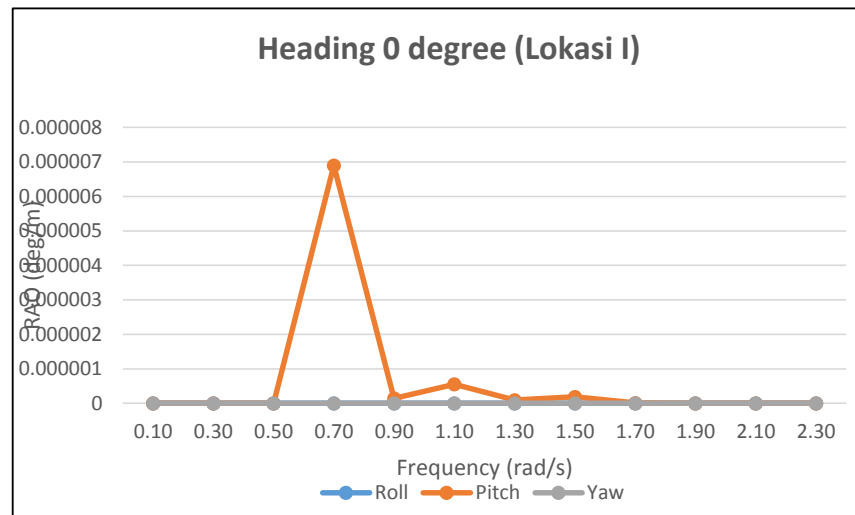
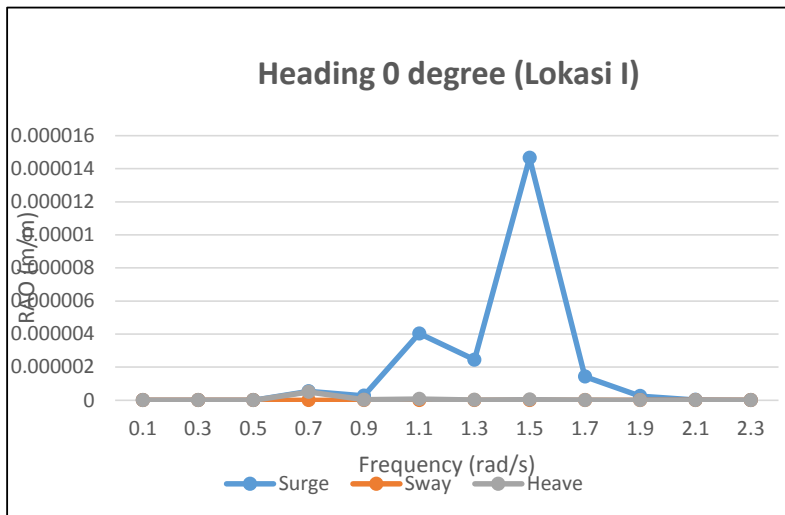
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.505E-12	3.7494E-21	4.8844E-12	3.28E-20	5.042E-11	1.68807E-20
0.7	4.182E-07	3.6044E-15	3.8939E-07	9.72E-15	5.443E-06	1.21764E-14
0.9	2.085E-07	3.58E-15	2.098E-08	2.22E-15	1.118E-07	8.60251E-15
1.1	3.177E-06	2.0684E-14	5.7487E-08	2.74E-13	4.34E-07	6.78939E-14
1.3	1.925E-06	1.3305E-16	1.4113E-08	8.27E-15	7.27E-08	1.87479E-14
1.5	1.156E-05	1.7405E-14	2.5127E-08	2.17E-13	1.48E-07	4.41285E-14
1.7	1.12E-06	3.4489E-14	7.4674E-10	1.51E-13	7.132E-09	1.24844E-13
1.9	1.951E-07	2.1989E-14	2.601E-11	1.66E-14	3.944E-10	1.66772E-14
2.1	9.218E-09	1.8713E-15	2.4038E-13	5.06E-15	1.242E-11	7.95747E-15
2.3	1.77E-10	6.5023E-17	4.558E-15	1.72E-16	2.26E-13	8.43066E-16

Lokasi V-Heading 0

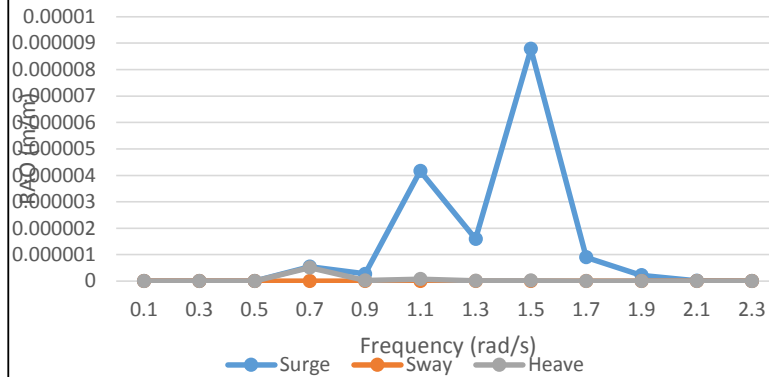
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	2.92E-08	2.5163E-16	2.7184E-08	6.78E-16	3.8E-07	8.50065E-16
0.9	1.456E-08	2.4993E-16	1.4646E-09	1.55E-16	7.807E-09	6.00562E-16
1.1	1.534E-06	9.9866E-15	2.7756E-08	1.32E-13	2.096E-07	3.27808E-14
1.3	9.045E-07	6.2523E-17	6.6317E-09	3.89E-15	3.416E-08	8.80989E-15
1.5	5.019E-06	7.5576E-15	1.0911E-08	9.44E-14	6.426E-08	1.91616E-14
1.7	7.446E-07	2.2932E-14	4.9652E-10	1.01E-13	4.743E-09	8.30118E-14
1.9	2.767E-07	3.1193E-14	3.6897E-11	2.36E-14	5.595E-10	2.36575E-14
2.1	1.63E-08	3.3086E-15	4.25E-13	8.95E-15	2.197E-11	1.40693E-14
2.3	3.35E-10	1.2307E-16	8.6268E-15	3.26E-16	4.277E-13	1.59563E-15

Lokasi VI-Heading 0

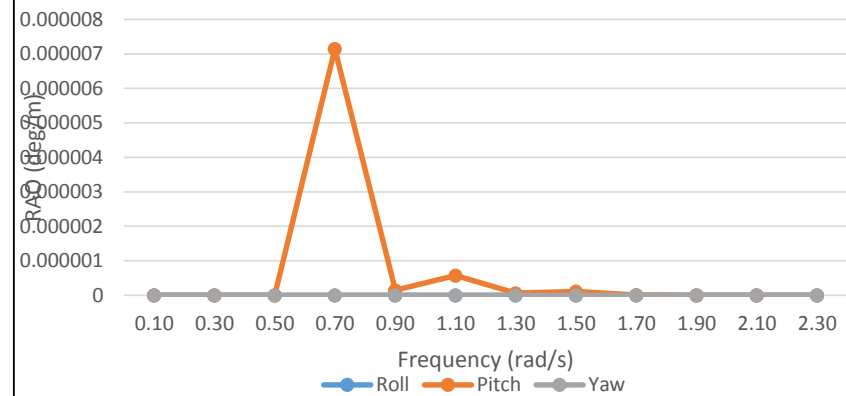
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	3.079E-08	1.8484E-18	3.8688E-08	1.45E-17	1.105E-08	2.59466E-18
0.5	0.0005274	1.314E-12	0.00171175	1.15E-11	0.0176701	5.91585E-12
0.7	0.0002886	2.4874E-12	0.00026872	6.71E-12	0.003756	8.40303E-12
0.9	7.064E-05	1.2126E-12	7.1059E-06	7.52E-13	3.788E-05	2.91372E-12
1.1	1.704E-05	1.1096E-13	3.0841E-07	1.47E-12	2.328E-06	3.64236E-13
1.3	1.724E-07	1.1914E-17	1.2637E-09	7.41E-16	6.51E-09	1.67881E-15
1.5	4.715E-07	7.1011E-16	1.0251E-09	8.87E-15	6.038E-09	1.8004E-15
1.7	3.524E-08	1.0854E-15	2.35E-11	4.77E-15	2.245E-10	3.92886E-15
1.9	8.92E-09	1.0054E-15	1.1893E-12	7.6E-16	1.804E-11	7.6256E-16
2.1	3.271E-10	6.6406E-17	8.5301E-15	1.8E-16	4.409E-13	2.8238E-16
2.3	5.086E-12	1.8686E-18	1.3099E-16	4.95E-18	6.493E-15	2.42275E-17



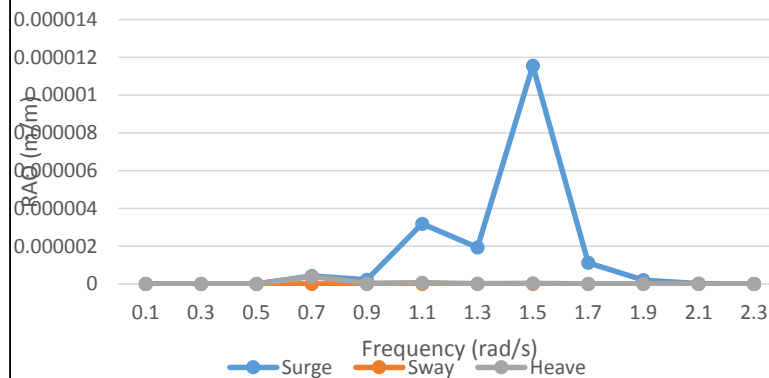
Heading 0 degree (Lokasi III)



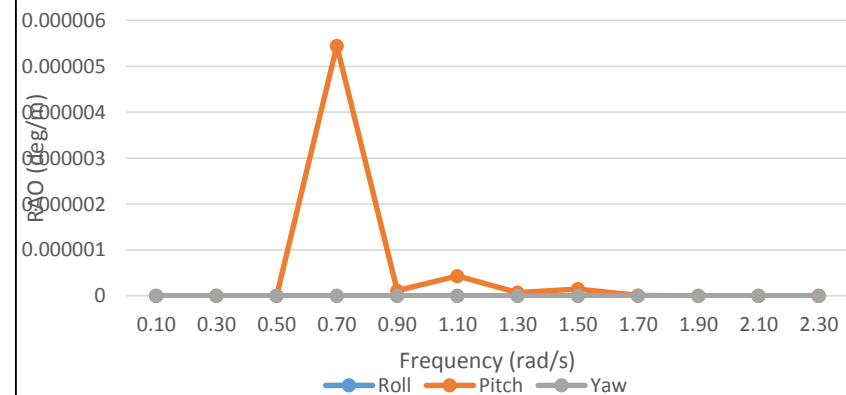
Heading 0 degree (Lokasi III)

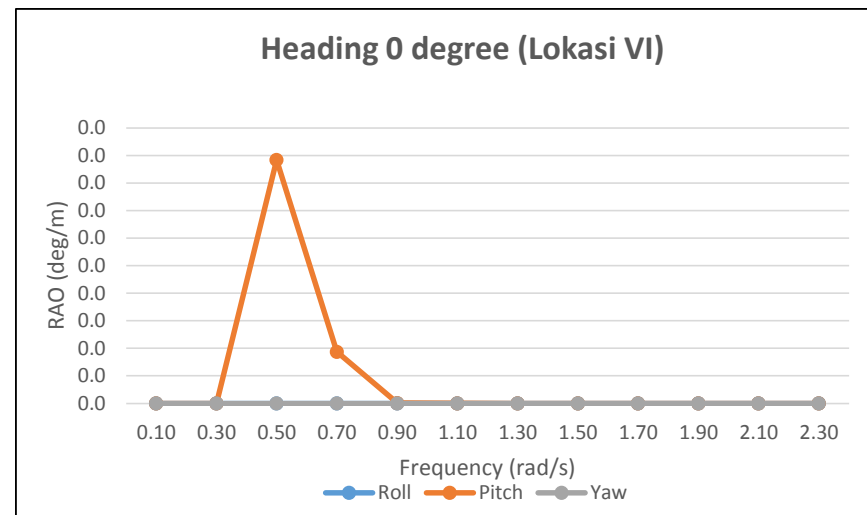
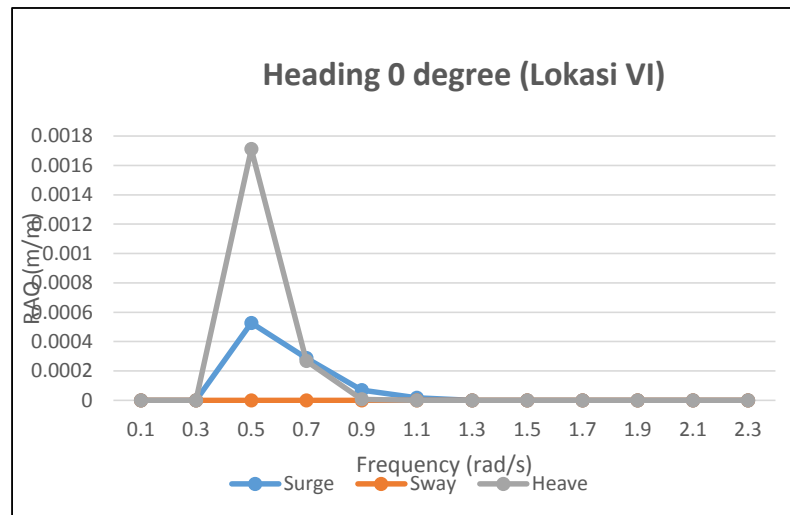
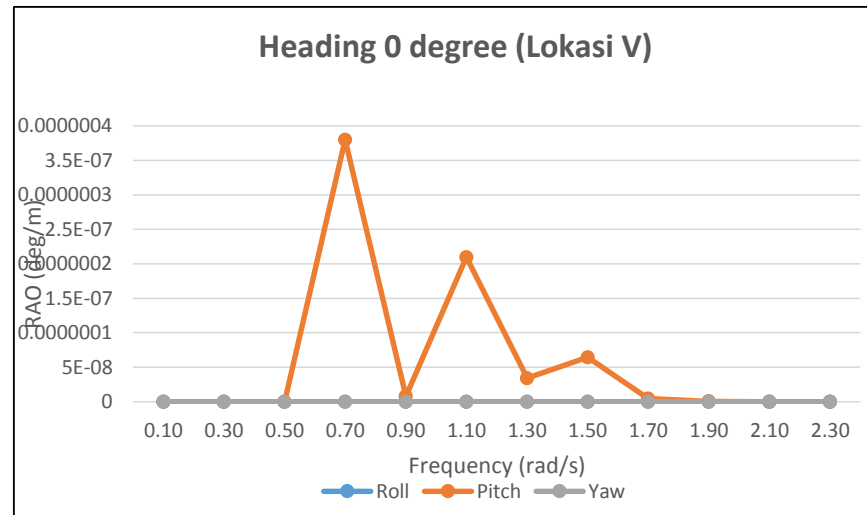
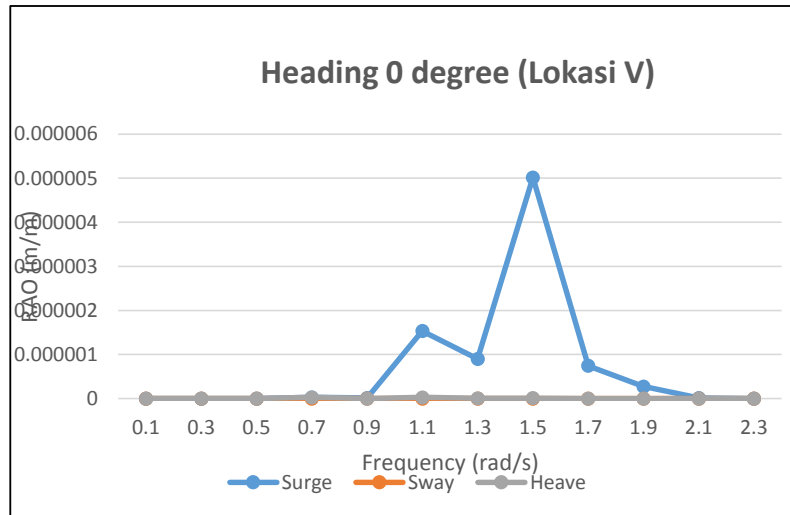


Heading 0 degree (Lokasi IV)



Heading 0 degree (Lokasi IV)





III. Respon Spektra Heading 45 Degree

Lokasi I-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	9.328E-12	6.7645E-12	5.2758E-11	3.19E-10	7.176E-11	2.08395E-11
0.7	7.233E-07	4.0499E-07	5.8725E-07	1.88E-06	1.919E-05	3.33478E-06
0.9	8.787E-08	2.5307E-08	2.0108E-08	1.59E-07	1.964E-07	9.25677E-07
1.1	1.292E-06	6.4798E-07	7.6141E-08	7.69E-07	1.89E-07	4.29437E-06
1.3	2.768E-07	1.1902E-07	3.447E-09	1.74E-07	1.588E-08	1.31553E-06
1.5	1.678E-07	1.4291E-07	2.1942E-10	1.94E-07	5.317E-10	1.81916E-06
1.7	4.167E-08	4.6975E-08	2.1008E-11	2.83E-08	2.387E-10	1.00168E-07
1.9	6.414E-09	4.2636E-09	1.5099E-12	4.12E-09	2.322E-11	2.60478E-08
2.1	1.568E-12	2.5458E-12	2.8471E-14	1.23E-11	3.306E-13	1.82799E-10
2.3	4.516E-12	7.5159E-13	2.4768E-14	7.45E-13	7.619E-14	1.6341E-11

Lokasi II-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0.0007316	0.00077794	0.00179735	0.001749	0.000242	0.000137919
0.5	0.0068909	0.0049972	0.03897433	0.235299	0.0530128	0.015394943
0.7	0.0014632	0.00081921	0.0011879	0.003812	0.0388121	0.006745617
0.9	4.766E-05	1.3725E-05	1.0905E-05	8.62E-05	0.0001065	0.000502042
1.1	4.818E-06	2.4167E-06	2.8398E-07	2.87E-06	7.049E-07	1.60163E-05
1.3	3.616E-08	1.5553E-08	4.5042E-10	2.27E-08	2.075E-09	1.71901E-07
1.5	1.074E-08	9.1458E-09	1.4042E-11	1.24E-08	3.403E-11	1.16423E-07
1.7	2.104E-09	2.3724E-09	1.061E-12	1.43E-09	1.206E-11	5.05881E-09
1.9	4.767E-10	3.1685E-10	1.1221E-13	3.06E-10	1.725E-12	1.93578E-09
2.1	9.217E-14	1.4962E-13	1.6733E-15	7.21E-13	1.943E-14	1.07433E-11
2.3	2.165E-13	3.6021E-14	1.187E-15	3.57E-14	3.651E-15	7.83152E-13

Lokasi III-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	9.664E-12	7.0085E-12	5.4661E-11	3.3E-10	7.435E-11	2.15911E-11
0.7	7.494E-07	4.1959E-07	6.0843E-07	1.95E-06	1.988E-05	3.45502E-06
0.9	9.104E-08	2.622E-08	2.0833E-08	1.65E-07	2.035E-07	9.59067E-07
1.1	1.337E-06	6.7056E-07	7.8794E-08	7.96E-07	1.956E-07	4.44401E-06
1.3	1.807E-07	7.7714E-08	2.2507E-09	1.13E-07	1.037E-08	8.58952E-07
1.5	1.005E-07	8.5614E-08	1.3145E-10	1.16E-07	3.186E-10	1.08983E-06
1.7	2.645E-08	2.9816E-08	1.3334E-11	1.8E-08	1.515E-10	6.35801E-08
1.9	5.826E-09	3.8725E-09	1.3714E-12	3.74E-09	2.109E-11	2.36589E-08
2.1	1.545E-12	2.508E-12	2.8048E-14	1.21E-11	3.257E-13	1.80086E-10
2.3	4.369E-12	7.2705E-13	2.396E-14	7.21E-13	7.37E-14	1.58075E-11

Lokasi IV-Heading 45

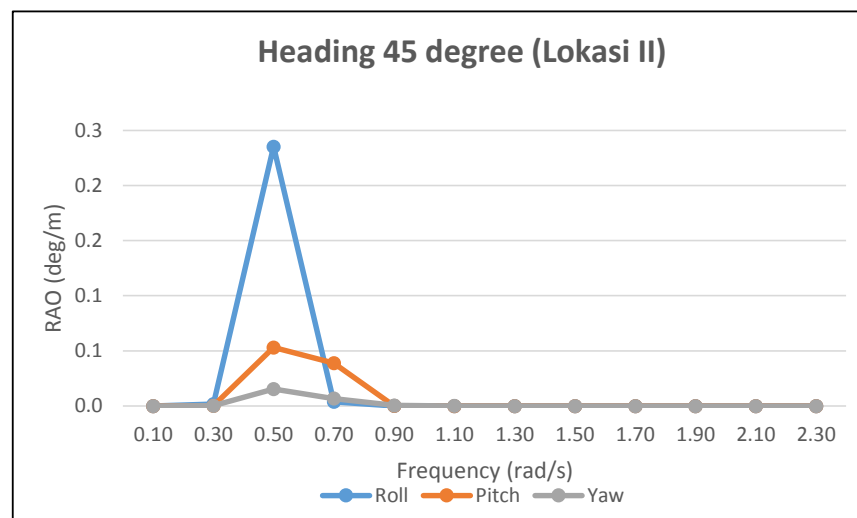
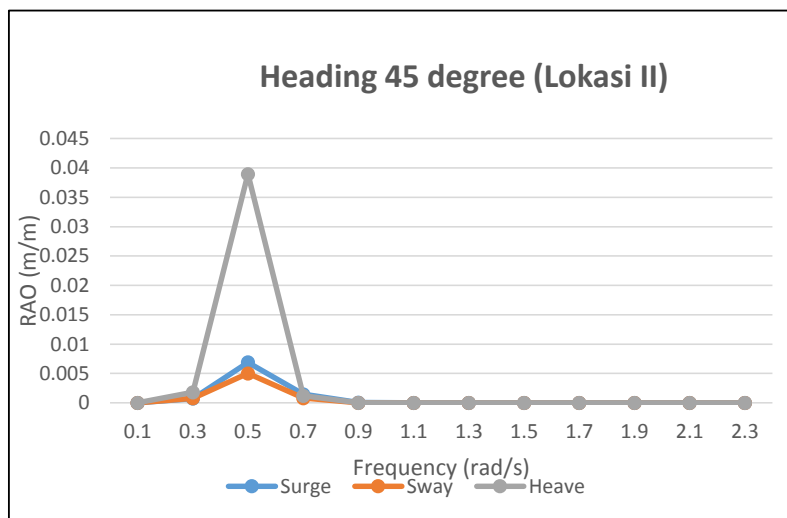
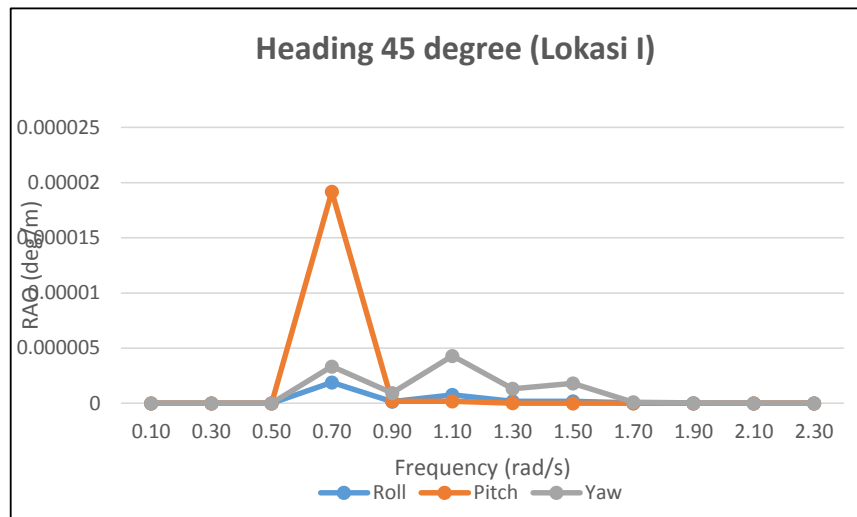
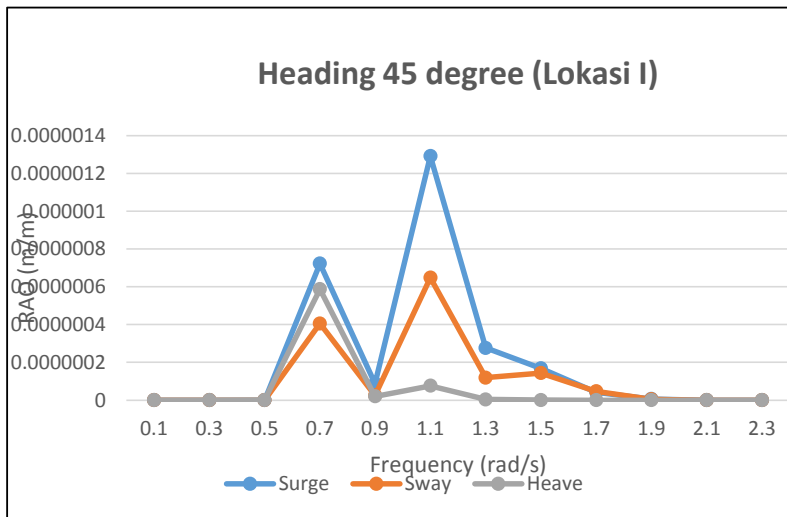
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	7.357E-12	5.3351E-12	4.1609E-11	2.51E-10	5.66E-11	1.64358E-11
0.7	5.705E-07	3.1941E-07	4.6316E-07	1.49E-06	1.513E-05	2.63009E-06
0.9	6.93E-08	1.9959E-08	1.5859E-08	1.25E-07	1.549E-07	7.30069E-07
1.1	1.019E-06	5.1105E-07	6.0051E-08	6.07E-07	1.491E-07	3.38691E-06
1.3	2.183E-07	9.3872E-08	2.7186E-09	1.37E-07	1.253E-08	1.03754E-06
1.5	1.323E-07	1.1271E-07	1.7305E-10	1.53E-07	4.194E-10	1.43474E-06
1.7	3.286E-08	3.7048E-08	1.6568E-11	2.24E-08	1.883E-10	7.90011E-08
1.9	5.059E-09	3.3626E-09	1.1908E-12	3.25E-09	1.831E-11	2.05435E-08
2.1	1.237E-12	2.0078E-12	2.2454E-14	9.68E-12	2.607E-13	1.44171E-10
2.3	3.562E-12	5.9277E-13	1.9534E-14	5.87E-13	6.009E-14	1.28878E-11

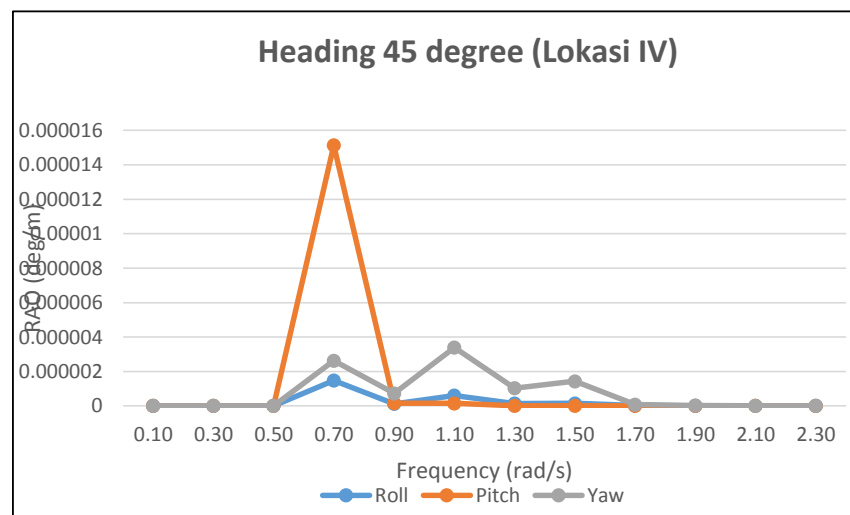
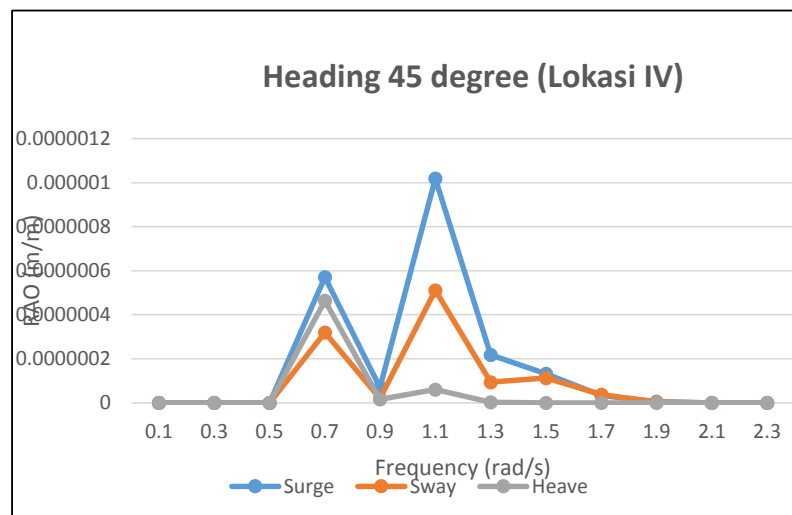
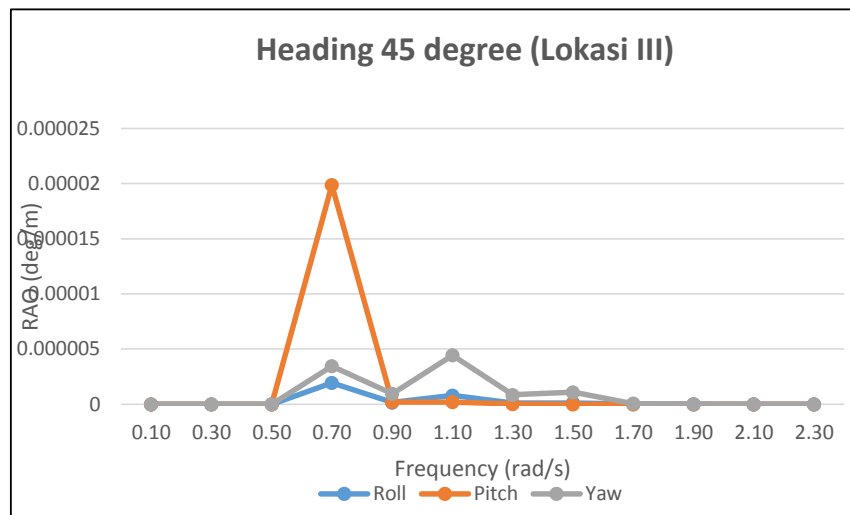
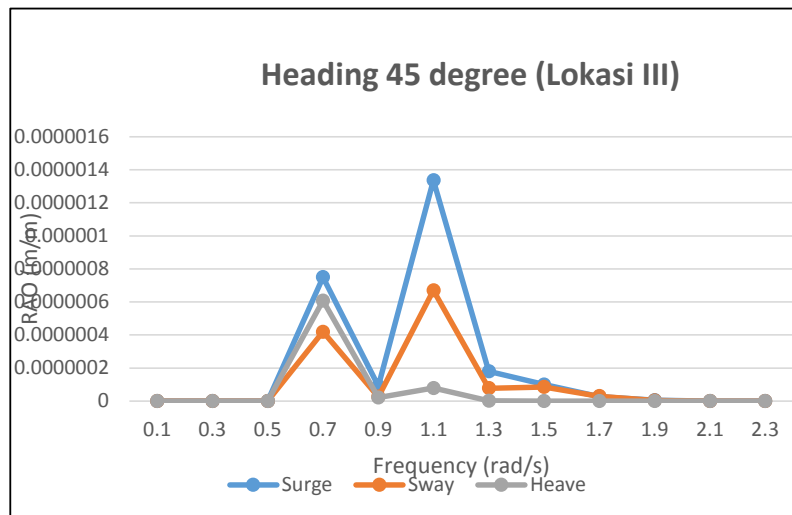
Lokasi V-Heading 45

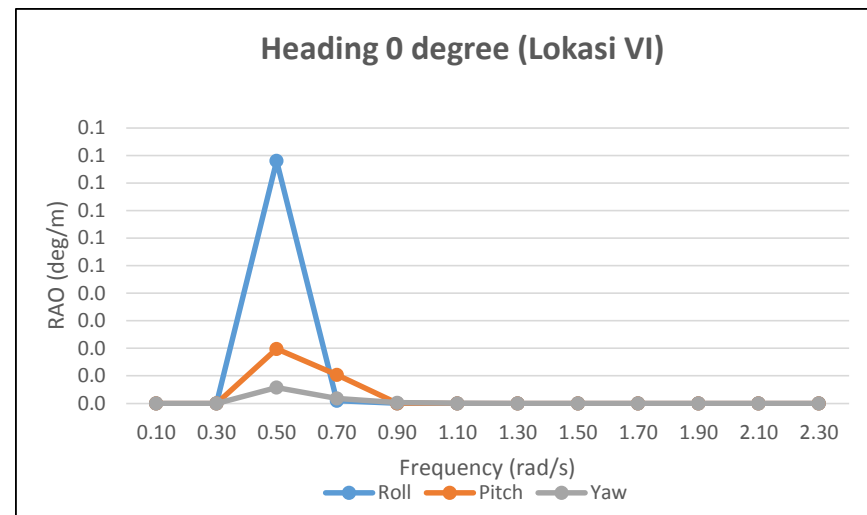
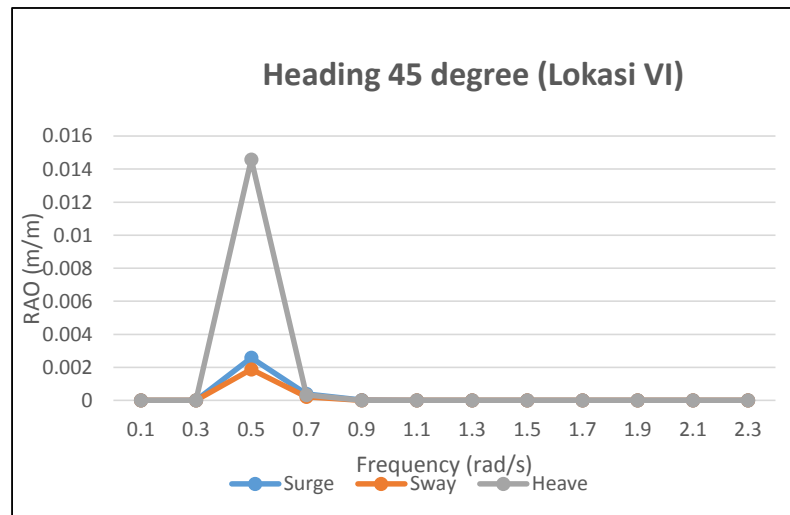
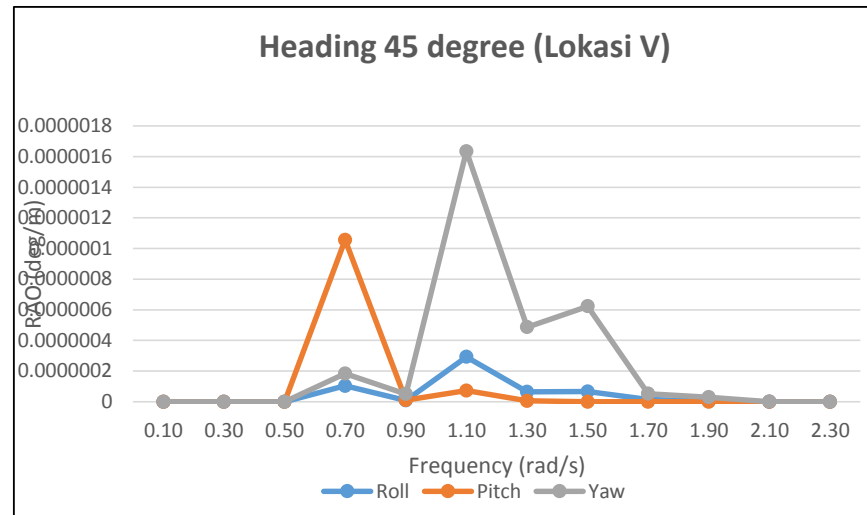
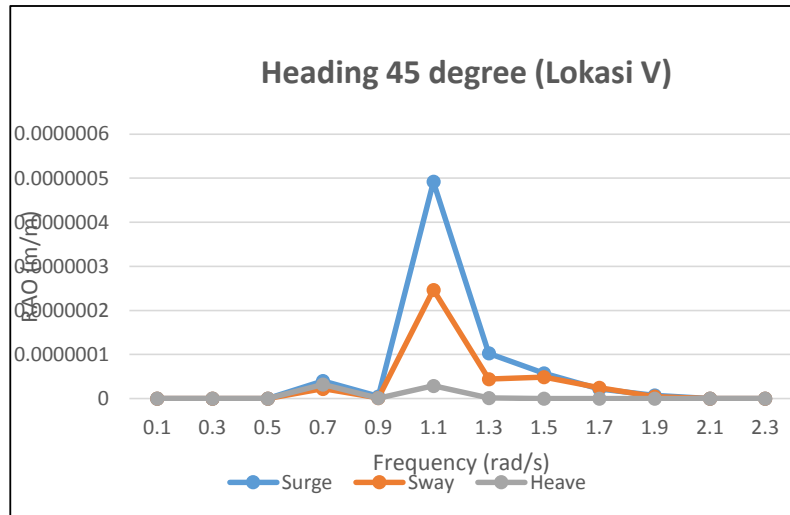
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	3.983E-08	2.2299E-08	3.2334E-08	1.04E-07	1.056E-06	1.83614E-07
0.9	4.838E-09	1.3934E-09	1.1071E-09	8.75E-09	1.081E-08	5.09679E-08
1.1	4.919E-07	2.4675E-07	2.8994E-08	2.93E-07	7.197E-08	1.63528E-06
1.3	1.026E-07	4.4112E-08	1.2775E-09	6.43E-08	5.886E-09	4.87555E-07
1.5	5.747E-08	4.8941E-08	7.5143E-11	6.64E-08	1.821E-10	6.22999E-07
1.7	2.185E-08	2.4634E-08	1.1017E-11	1.49E-08	1.252E-10	5.25295E-08
1.9	7.176E-09	4.77E-09	1.6893E-12	4.61E-09	2.597E-11	2.91421E-08
2.1	2.187E-12	3.5499E-12	3.9701E-14	1.71E-11	4.61E-13	2.54902E-10
2.3	6.742E-12	1.1219E-12	3.6972E-14	1.11E-12	1.137E-13	2.43923E-11

Lokasi VI-Heading 45

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	1.807E-08	1.922E-08	4.4406E-08	4.32E-08	5.98E-09	3.40747E-09
0.5	0.0025782	0.00186968	0.01458204	0.088036	0.0198345	0.005759934
0.7	0.0003937	0.00022043	0.00031963	0.001026	0.0104433	0.001815057
0.9	2.347E-05	6.7603E-06	5.3714E-06	4.24E-05	5.247E-05	0.000247279
1.1	5.466E-06	2.7417E-06	3.2216E-07	3.26E-06	7.997E-07	1.817E-05
1.3	1.955E-08	8.4059E-09	2.4344E-10	1.23E-08	1.122E-09	9.29084E-08
1.5	5.4E-09	4.5984E-09	7.0603E-12	6.23E-09	1.711E-11	5.85362E-08
1.7	1.034E-09	1.1659E-09	5.2141E-13	7.03E-10	5.925E-12	2.48616E-09
1.9	2.313E-10	1.5375E-10	5.445E-14	1.49E-10	8.372E-13	9.39346E-10
2.1	4.389E-14	7.125E-14	7.9682E-16	3.43E-13	9.252E-15	5.11608E-12
2.3	1.024E-13	1.7035E-14	5.6137E-16	1.69E-14	1.727E-15	3.70363E-13







III. Respon Spektra Heading 90 Degree

Lokasi I-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.428E-14	3.9446E-11	2.1217E-11	3.36E-10	7.191E-13	3.12606E-14
0.7	5.078E-09	1.8712E-05	4.3111E-06	3.71E-05	9.885E-07	3.02076E-08
0.9	6.472E-12	7.7971E-06	7.2257E-07	6.55E-06	3.444E-09	2.23944E-08
1.1	1.459E-11	9.3441E-05	1.3137E-06	4.59E-05	3.323E-09	3.29369E-07
1.3	4.686E-13	5.8852E-05	1.8015E-07	2.39E-05	3.151E-10	2.24133E-07
1.5	3.651E-12	0.00030522	1.2164E-07	0.000144	1.574E-10	1.1172E-06
1.7	8.536E-14	2.6897E-05	3.4897E-09	1.65E-05	3.605E-12	9.30573E-08
1.9	3.828E-15	5.5433E-06	4.2852E-12	4.3E-06	1.706E-14	1.81276E-08
2.1	4.941E-17	1.9771E-07	3.0748E-12	1.94E-07	5.767E-16	6.2878E-10
2.3	8.276E-17	6.4876E-09	3.0011E-13	7.24E-09	5.896E-17	1.98867E-11

Lokasi II-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	7.932E-09	0.00175202	0.00131602	0.002435	2.356E-07	2.16197E-06
0.5	1.055E-05	0.02914024	0.0156741	0.248241	0.0005313	2.30934E-05
0.7	1.027E-05	0.03785125	0.00872045	0.075041	0.0019995	6.11043E-05
0.9	3.51E-09	0.00422877	0.00039189	0.00355	1.868E-06	1.21456E-05
1.1	5.443E-11	0.0003485	4.8996E-06	0.000171	1.239E-08	1.22842E-06
1.3	6.123E-14	7.6903E-06	2.354E-08	3.12E-06	4.118E-11	2.92876E-08
1.5	2.336E-13	1.9533E-05	7.785E-09	9.2E-06	1.007E-11	7.14989E-08
1.7	4.311E-15	1.3584E-06	1.7624E-10	8.31E-07	1.821E-13	4.69967E-09
1.9	2.845E-16	4.1196E-07	3.1846E-13	3.19E-07	1.268E-15	1.34718E-09
2.1	2.904E-18	1.162E-08	1.8071E-13	1.14E-08	3.389E-17	3.69542E-11
2.3	3.966E-18	3.1092E-10	1.4383E-14	3.47E-10	2.826E-18	9.53083E-13

Lokasi III-Heading 90

Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.479E-14	4.0869E-11	2.1983E-11	3.48E-10	7.451E-13	3.2388E-14
0.7	5.261E-09	1.9387E-05	4.4665E-06	3.84E-05	1.024E-06	3.12968E-08
0.9	6.705E-12	8.0783E-06	7.4864E-07	6.78E-06	3.569E-09	2.32022E-08
1.1	1.51E-11	9.6697E-05	1.3595E-06	4.75E-05	3.439E-09	3.40846E-07
1.3	3.059E-13	3.8426E-05	1.1763E-07	1.56E-05	2.058E-10	1.46344E-07
1.5	2.187E-12	0.00018285	7.2876E-08	8.61E-05	9.431E-11	6.69301E-07
1.7	5.418E-14	1.7072E-05	2.215E-09	1.04E-05	2.288E-12	5.90664E-08
1.9	3.477E-15	5.0349E-06	3.8922E-12	3.9E-06	1.549E-14	1.6465E-08
2.1	4.867E-17	1.9478E-07	3.0292E-12	1.91E-07	5.681E-16	6.19447E-10
2.3	8.006E-17	6.2758E-09	2.9031E-13	7E-09	5.704E-17	1.92374E-11

Lokasi IV-Heading 90

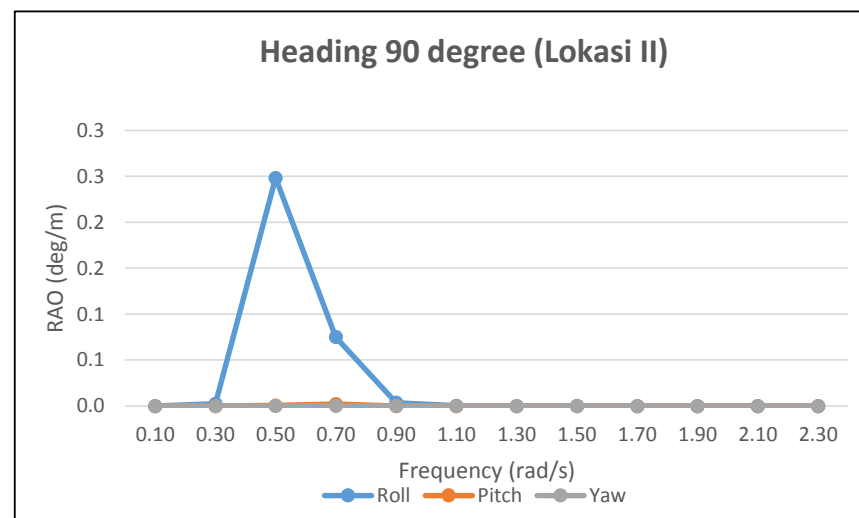
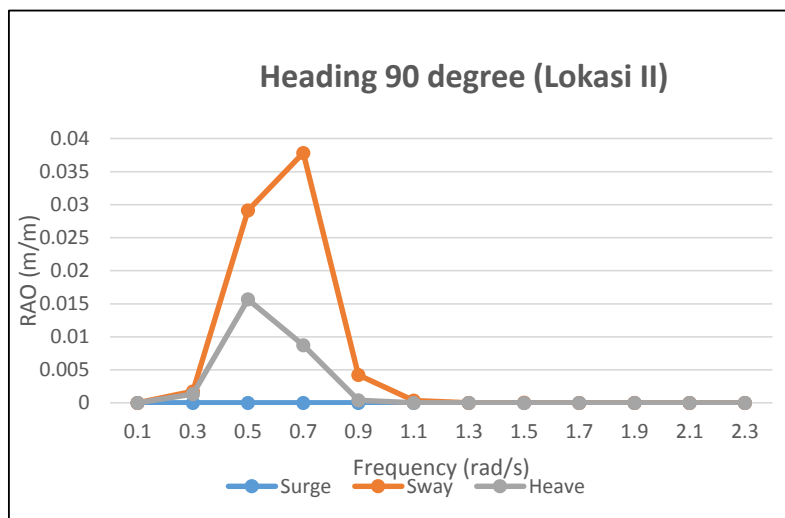
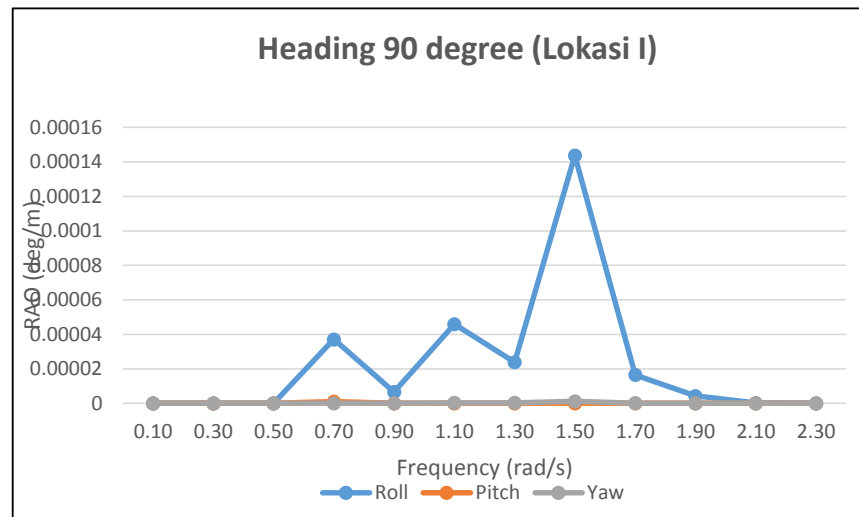
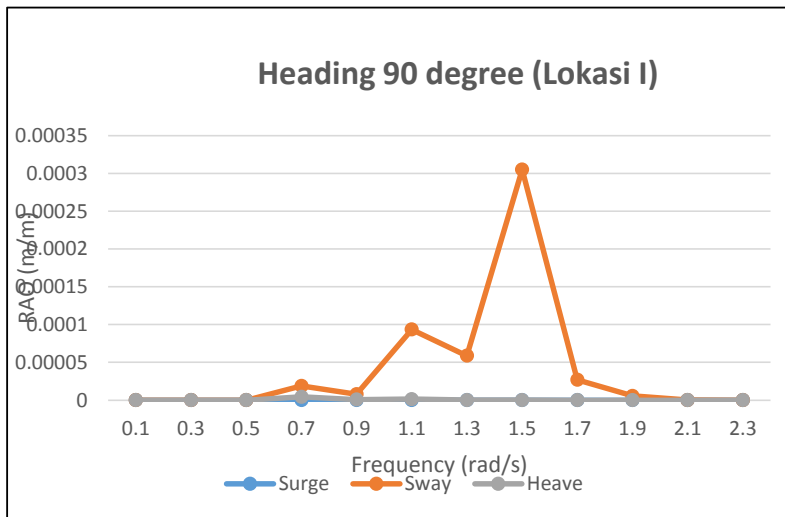
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	1.126E-14	3.111E-11	1.6734E-11	2.65E-10	5.672E-13	2.46547E-14
0.7	4.005E-09	1.4758E-05	3.4001E-06	2.93E-05	7.796E-07	2.38244E-08
0.9	5.104E-12	6.1495E-06	5.6988E-07	5.16E-06	2.717E-09	1.76622E-08
1.1	1.151E-11	7.3696E-05	1.0361E-06	3.62E-05	2.621E-09	2.59769E-07
1.3	3.695E-13	4.6416E-05	1.4208E-07	1.88E-05	2.485E-10	1.76771E-07
1.5	2.879E-12	0.00024072	9.5939E-08	0.000113	1.242E-10	8.81122E-07
1.7	6.732E-14	2.1213E-05	2.7523E-09	1.3E-05	2.843E-12	7.33926E-08
1.9	3.019E-15	4.3719E-06	3.3796E-12	3.39E-06	1.345E-14	1.42969E-08
2.1	3.897E-17	1.5593E-07	2.425E-12	1.53E-07	4.548E-16	4.95908E-10
2.3	6.527E-17	5.1167E-09	2.3669E-13	5.71E-09	4.65E-17	1.56843E-11

Lokasi V-Heading 90

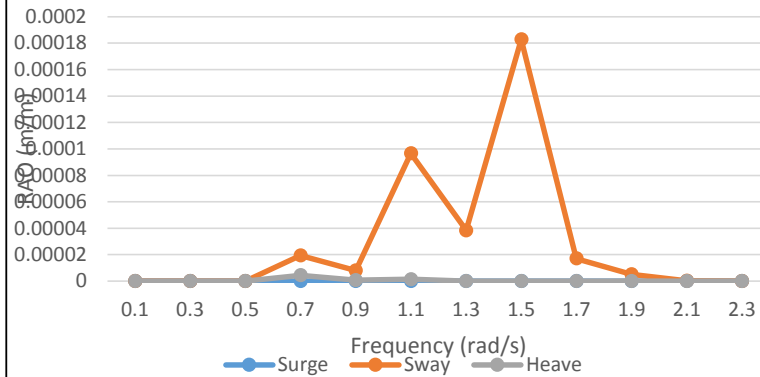
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.7	2.796E-10	1.0303E-06	2.3737E-07	2.04E-06	5.443E-08	1.66324E-09
0.9	3.563E-13	4.2931E-07	3.9785E-08	3.6E-07	1.897E-10	1.23304E-09
1.1	5.558E-12	3.5582E-05	5.0025E-07	1.75E-05	1.265E-09	1.25422E-07
1.3	1.737E-13	2.1811E-05	6.6766E-08	8.85E-06	1.168E-10	8.30671E-08
1.5	1.25E-12	0.00010453	4.1659E-08	4.92E-05	5.391E-11	3.82603E-07
1.7	4.476E-14	1.4105E-05	1.83E-09	8.63E-06	1.89E-12	4.88003E-08
1.9	4.283E-15	6.2018E-06	4.7942E-12	4.81E-06	1.908E-14	2.0281E-08
2.1	6.89E-17	2.757E-07	4.2876E-12	2.7E-07	8.042E-16	8.76795E-10
2.3	1.235E-16	9.6842E-09	4.4798E-13	1.08E-08	8.802E-17	2.9685E-11

Lokasi VI-Heading 90

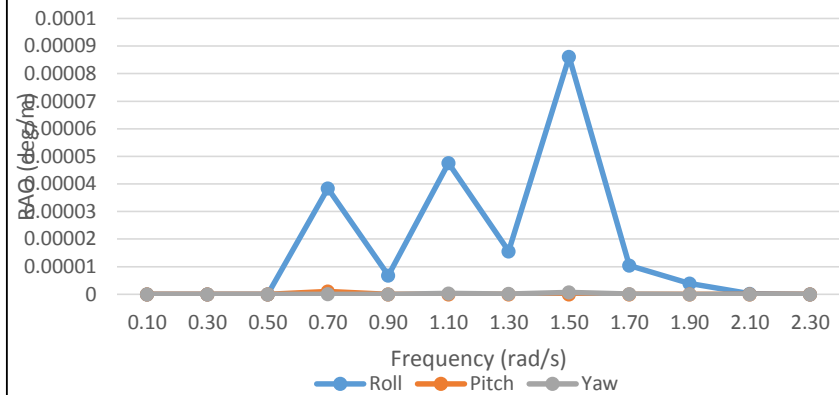
Frequency(rad/s)	Response Spectra					
	Surge RAO (m/m)	Sway RAO (m/m)	Heave RAO (m/m)	Roll RAO (m/m)	Pitch RAO (m/m)	Yaw RAO (m/m)
0.1	0	0	0	0	0	0
0.3	1.96E-13	4.3286E-08	3.2514E-08	6.02E-08	5.82E-12	5.34142E-11
0.5	3.947E-06	0.01090266	0.00586438	0.092878	0.0001988	8.64027E-06
0.7	2.764E-06	0.01018471	0.00234643	0.020191	0.000538	1.64414E-05
0.9	1.729E-09	0.00208286	0.00019302	0.001749	9.201E-07	5.98229E-06
1.1	6.175E-11	0.00039536	5.5584E-06	0.000194	1.406E-08	1.3936E-06
1.3	3.309E-14	4.1564E-06	1.2723E-08	1.69E-06	2.226E-11	1.58292E-08
1.5	1.175E-13	9.8212E-06	3.9142E-09	4.62E-06	5.065E-12	3.59489E-08
1.7	2.119E-15	6.6758E-07	8.6614E-11	4.08E-07	8.947E-14	2.30967E-09
1.9	1.38E-16	1.9991E-07	1.5453E-13	1.55E-07	6.151E-16	6.53723E-10
2.1	1.383E-18	5.5335E-09	8.6056E-14	5.43E-09	1.614E-17	1.75979E-11
2.3	1.876E-18	1.4704E-10	6.8019E-15	1.64E-10	1.336E-18	4.50725E-13



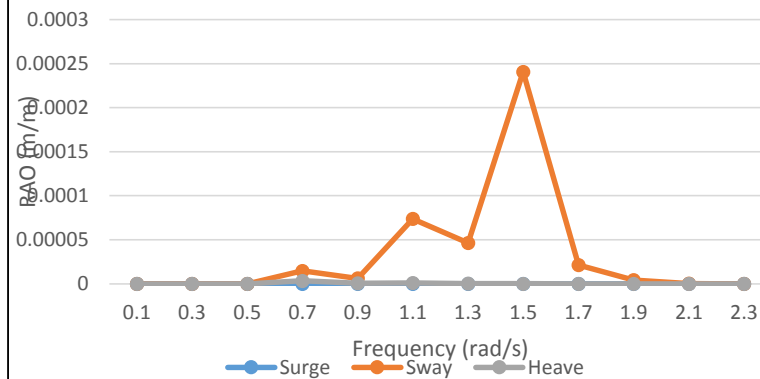
Heading 90 degree (Lokasi III)



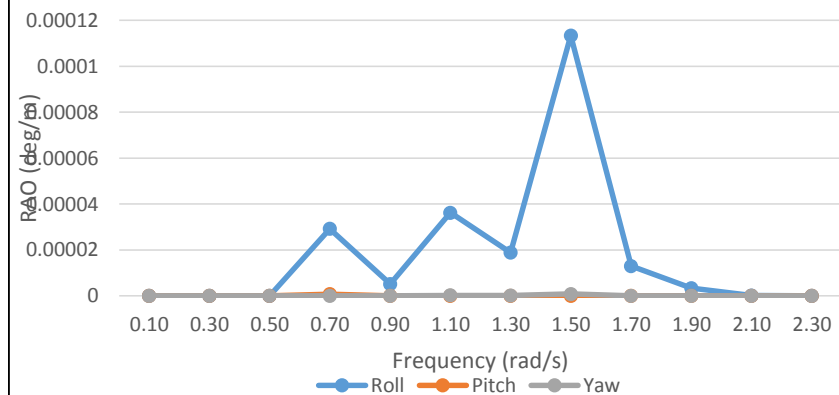
Heading 90 degree (Lokasi III)

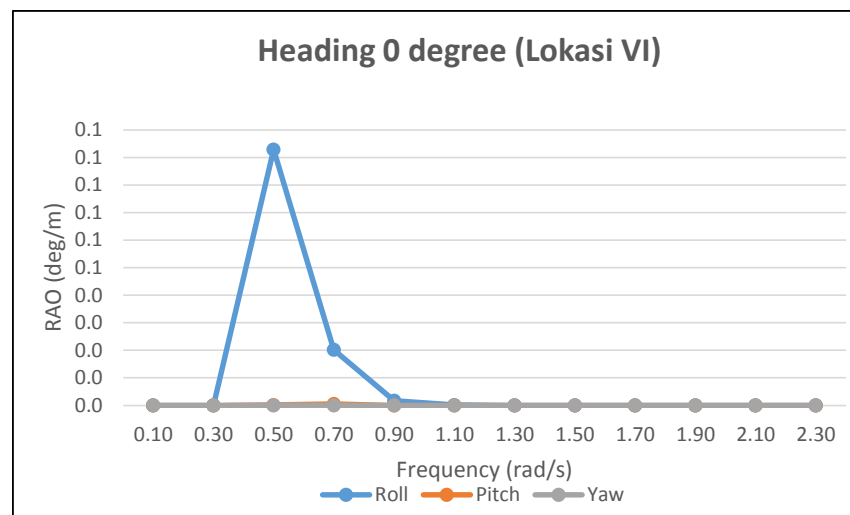
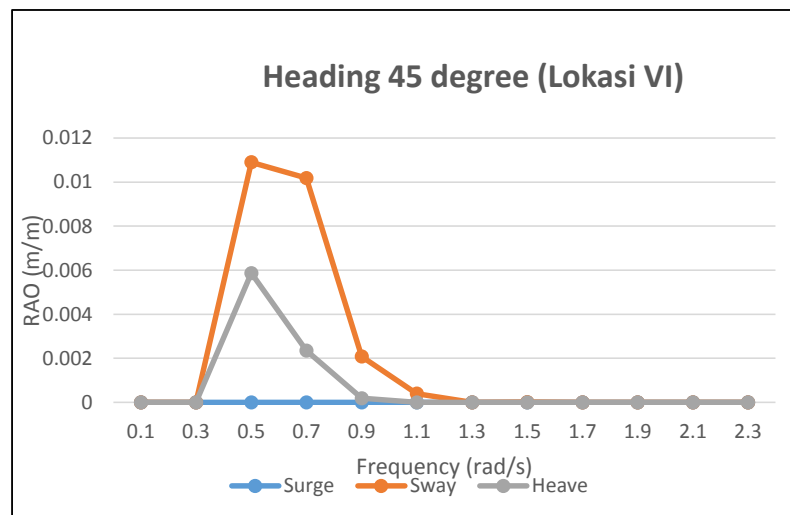
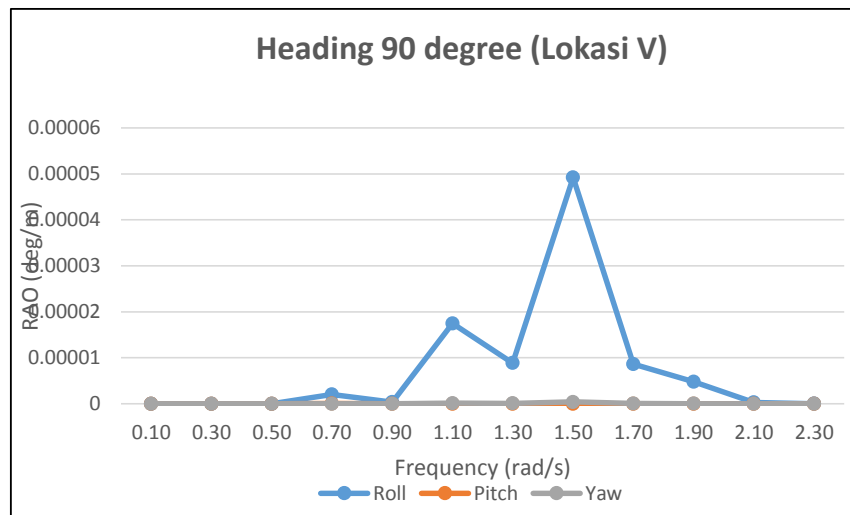
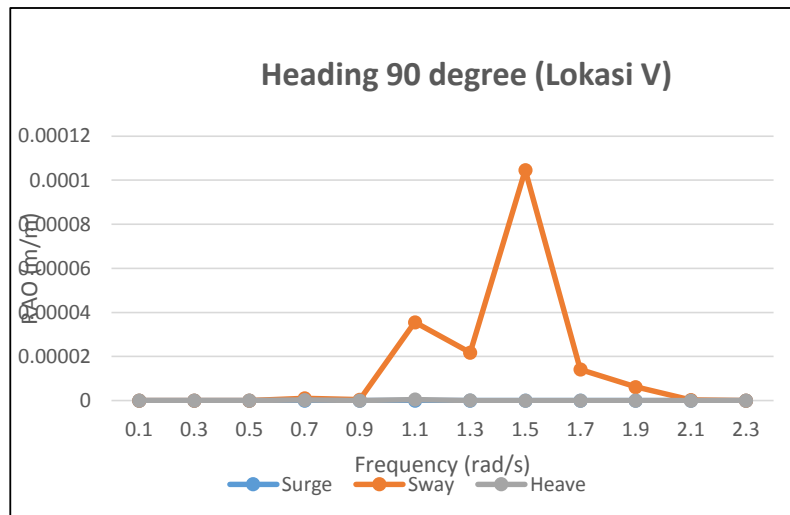


Heading 90 degree (Lokasi IV)



Heading 90 degree (Lokasi IV)







Thesis

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Production Cost Estimation

Nama :

Muhamad Fyan

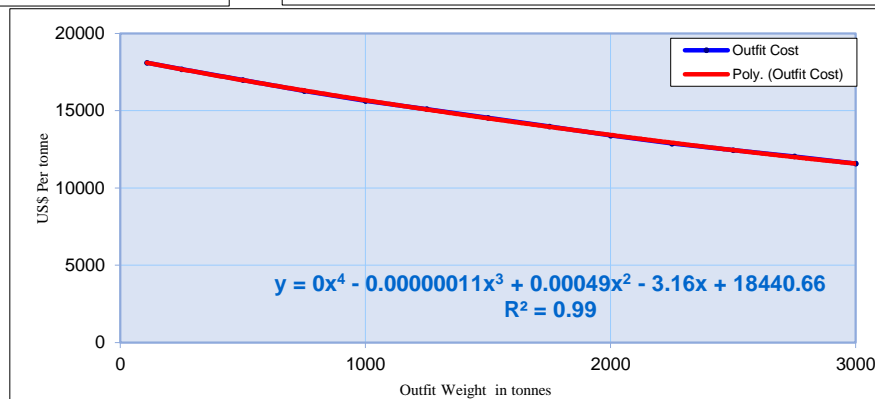
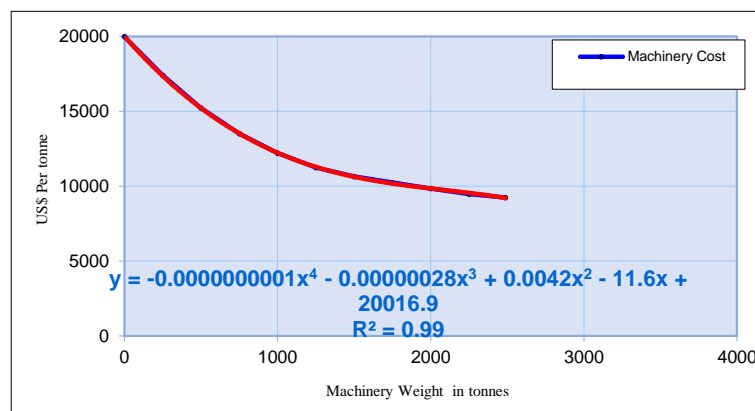
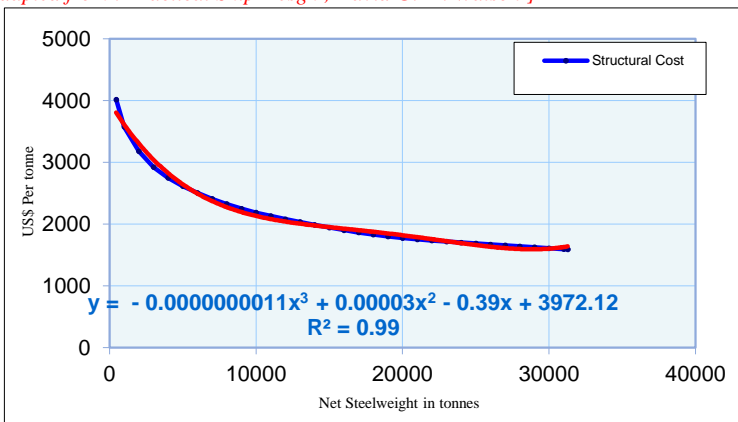
NRP :

4316203003

Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia

I. Barge Production Cost

[Adapted from : Practical Ship Design , David G. M. Watson]



[Adapted from : Practical Ship Design , David G. M. Watson]

Structural Cost		Machinery Cost		Outfit Cost	
X	Y	X	Y	X	Y
446.11	4016.441	0.00	19999.998	108.512	18095.879
1000	3573.251	250	17404.864	250	17691.549
2000	3177.978	500	15223.740	500	16989.057
3000	2920.543	750	13526.948	750	16278.670
4000	2747.847	1000	12207.742	1000	15634.406
5000	2615.739	1250	11254.785	1250	15106.225
6000	2504.969	1500	10651.590	1500	14539.627
7000	2409.150	1750	10236.659	1750	13984.849
8000	2324.653	2000	9849.905	2000	13396.412
9000	2250.496	2250	9481.228	2250	12875.384
10000	2186.169	2486.794	9246.100	2500	12456.512
11000	2130.366			2750	12042.495
12000	2080.288			3000	11581.376
13000	2033.178			3106.808	11388.140
14000	1987.390				
15000	1943.498				
16000	1902.357				
17000	1864.790				
18000	1831.242				
19000	1801.637				
20000	1775.868				
21000	1753.819				
22000	1734.882				
23000	1717.950				
24000	1701.906				
25000	1685.992				
26000	1670.219				
27000	1654.697				
28000	1639.537				
29000	1624.807				
30000	1610.403				
31000	1596.181				
31276	1592.275				

Hasil Regresi :	
Structural Cost	
Y =	$a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e$
a =	0
b =	-0.000000001
c =	0.0000298
d =	-0.4
e =	3972.1
Machinery Cost	
Y =	$a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e$
a =	-0.0000000001
b =	-0.0000003
c =	0.004
d =	-11.604
e =	20017
Outfit Cost	
Y =	$a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e$
a =	0
b =	-0.00000011
c =	0.00049
d =	-3
e =	18441

I. Barge Production Cost Estimation

Ref: Practical Ship Design, (D.G.M. Watson)

Berikut merupakan contoh perhitungan Hull part, machinery, equipment and outfitting cost calculation, untuk pembangkit berukuran 5 mW.

Input Data:			
Wst	=	1479.83	ton
Wgs&	=	140.112	ton
Weo	=	821.8413955	ton

1. Hull Part Cost Calculation

W_s = Steel Weight

= 1479.83

Cst Unit Price for Steel

= \$3456.804

Part = \$5,115,494

2. Machinery Part Cost Calculation

W_{EP} = Engine Plant Weight

= 140.112

C_{EP} = Unit Price for Engine Plant

= \$18472.547

\$ Machinery Part = \$2,588,226

3. E&O Part Cost Calculation

W_{EP} = Equipment and Outfitting Weight

= 821.8413955

C_{EP} = Unit Price for E&O

= \$16113.650

\$ E&O Part = \$13,242,865

Berikut merupakan rekapan perhitungan tersebut pada tiap pembangkit.

Pnet	Hull Part			Machinert Part			E&O Part			Total Cost \$
	Weight (Ton)	Unit Price	Cost \$	Weight (Ton)	Unit Price	Cost \$	Weight (Ton)	Unit Price	Cost \$	
5	1,480	3,457	5,115,494	140	18,473	2,588,226	822	16,114	13,242,865	20,946,584
10	1,939	3,320	6,437,045	280	17,086	4,791,642	874	15,980	13,962,019	25,190,706
50	4,427	2,735	12,105,803	1,411	10,810	15,254,512	1,652	14,060	23,225,087	50,585,402

Setelah diketahui harga Barge, maka dapat diketahui harga per item lainnya dengan menggunakan % pada harga barge terhadap total cost yaitu 22%

Pnet	Estimation Cost of Barge \$	Total Cost of OTEC Barge Estimation
5	\$20,946,584	\$95,211,745
10	\$25,190,706	\$114,503,211
50	\$50,585,402	\$229,933,643

II. Heat Exchanger and Turbine Generator Cost Estimation

Ref: Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) An Update (Luis A. Vega Ph.D.,)

Harga satuan heat exchanger didapatkan dari hasil total harga HE. Di penelitian yang sudah ada dibagi berapa banyak unit yang dimiliki pada penelitian tersebut.

No.	Item	Unit Price (US\$)
1	Evaporator	677,916
2	Condensor	677,916
3	Nh3 Turbine (4 mW)	2,003,806
4	Nh3 Turbine (16 mW)	3,219,071

Pnet	Evaporator		Condensor		Turbine/Generator		Total Cost of HE (US\$)	Turbine Generator (US\$)
	Quantity	Cost	Quantity	Cost	Quantity	Cost		
5	8	\$5,423,326	8	\$5,423,326	2	\$4,007,612	\$10,846,652	\$14,854,264
10	16	\$10,846,652	16	\$10,846,652	4	\$8,015,225	\$21,693,304	\$29,708,529
50	72	\$48,809,934	72	\$48,809,934	6	\$19,314,426	\$97,619,868	\$116,934,294

III. Sea Water Pipes Cost Estimation

Ref: Narendran Lokesh

Diketahui dari suatu penelitian bahwa harga dari FRP adalah sebagai berikut

FRP Installation Price		Taken
Surface preparation	\$8-20/sqft	20
FRP	\$10-20/sqft	20
Misc	\$10-20/sqft	20
Total	\$28-55/sqft	60

Sea Water Pipe Cost										
No.	Lokasi	Total Cross Sectional Area CW.Pipe (m ²)			Total Cross Sectional Area Mix W. Pipe (m ²)			Total Cross Sectional Area WW.Pipe (m ²)		
		5 MW	10 MW	50 MW	5 MW	10 MW	50 MW	5 MW	10 MW	50 MW
1.0	Lokasi I	5189.9	7389.0	15987.6	1048.0	1048.0	1262.9	261.4	361.9	848.2
2.0	Lokasi II	4970.0	6949.2	15327.8	1048.0	1048.0	1262.9	248.8	349.3	810.5
3.0	Lokasi III	5409.8	7608.9	16647.3	1048.0	1048.0	1262.9	273.9	380.8	885.9
4.0	Lokasi IV	4970.0	6949.2	15327.8	1048.0	1048.0	1262.9	248.8	349.3	810.5
5.0	Lokasi V	5409.8	7608.9	16647.3	1048.0	1048.0	1262.9	273.9	380.8	885.9
6.0	Lokasi VI	4970.0	6949.2	15327.8	1048.0	1048.0	1262.9	248.8	349.3	810.5

No.	Lokasi	Cost of Area CW.Pipe			Cost of Area Mix W. Pipe			Cost of Area WW.Pipe		
		5 MW	10 MW	50 MW	5 MW	10 MW	50 MW	5 MW	10 MW	50 MW
1	Lokasi I	\$1,021,636	\$1,454,533	\$3,147,159	\$412,612	\$412,612	\$497,213	\$102,906	\$142,485	\$333,949
2	Lokasi II	\$978,346	\$1,367,953	\$3,017,290	\$412,612	\$412,612	\$497,213	\$97,958	\$137,537	\$319,107
3	Lokasi III	\$1,064,926	\$1,497,822	\$3,277,027	\$412,612	\$412,612	\$497,213	\$107,853	\$149,906	\$348,791
4	Lokasi IV	\$978,346	\$1,367,953	\$3,017,290	\$412,612	\$412,612	\$497,213	\$97,958	\$137,537	\$319,107
5	Lokasi V	\$1,064,926	\$1,497,822	\$3,277,027	\$412,612	\$412,612	\$497,213	\$107,853	\$149,906	\$348,791
6	Lokasi VI	\$978,346	\$1,367,953	\$3,017,290	\$412,612	\$412,612	\$497,213	\$97,958	\$137,537	\$319,107

No.	Lokasi	Ditambah biaya Instalasi (6 Mil.) & Deliv.(1 Mil) sebesar 7 Mil. US\$	Total Cost of Sea Water Pipe		
			5 MW	10 MW	50 MW
1	Lokasi I		\$8,537,154	\$9,009,630	\$10,978,320
2	Lokasi II		\$8,488,917	\$8,918,103	\$10,833,609
3	Lokasi III		\$8,585,391	\$9,060,340	\$11,123,031
4	Lokasi IV		\$8,488,917	\$8,918,103	\$10,833,609
5	Lokasi V		\$8,585,391	\$9,060,340	\$11,123,031
6	Lokasi VI		\$8,488,917	\$8,918,103	\$10,833,609

IV. Submarine Power Cable Cost Estimation

Ref: Submarine Electricity Cables Cost Benefit Analysis Methodology Statement, Sottish and Southern Energy ,Page 21

Description	Cost (US\$)	+Margin (20%)	Unit
Price of Cables	1360	1632	per km
Cable Laying Vessel	1360	1632	per day
Vessel for Installation Protection	1360	1632	per day
Cable Protection Cost	1000	1200	per km

Note:

Time taken for laying each technique (7 days per km)

Margin taken for risk of repair and replacement cost when installation conducted

No.	Lokasi	Distance from site to shore (km)	Price of Cables	Time taken for Installation (days)	Cable Laying Vessel	Vessel for Installation Protection	Cable Protection Cost	Total Cost of Submarine Power Cable
1	Lokasi I	30	\$48,960	210	\$342,720	\$342,720	\$36,000	\$770,400
2	Lokasi II	20	\$32,640	140	\$228,480	\$228,480	\$24,000	\$513,600
3	Lokasi III	30	\$48,960	210	\$342,720	\$342,720	\$36,000	\$770,400
4	Lokasi IV	30	\$48,960	210	\$342,720	\$342,720	\$36,000	\$770,400
5	Lokasi V	20	\$32,640	140	\$228,480	\$228,480	\$24,000	\$513,600
6	Lokasi VI	20	\$32,640	140	\$228,480	\$228,480	\$24,000	\$513,600



Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Summary of Production Cost Estimation

Nama :

Muhamad Fyan

NRP :

4316203003

Studi Komparatif Desain OTEC Barge di Indonesia

Lokasi	Laut	Wilayah Distribusi	Harga Jual Listrik Rp/Kwh
1	Laut Bali	Madura	2332
2	Laut Samudera Hindia	Jawa Barat	866
3	Laut Banda	Maluku, Seram	2330
4	Laut Banda	Malawesi Tenggara	1078
5	Selat Makassar	Palu	1016
6	Pulau Talaud	Beo	2332

Lokasi I			Lokasi II		
5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Component	\$M	Percentage	Component	\$M	Percentage
Floating Vessel	20,946,584	32%	Floating Vessel	20,946,584	32%
Mooring	4,816,969	7%	Mooring	4,816,969	7%
Submarine Power Cable	770,400	1%	Submarine Power Cable	513,600	1%
Seawater Pipes Installed	8,537,154	13%	Seawater Pipes Installed	8,488,917	13%
Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%	Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%
Heat Exchanger	10,846,652	16%	Heat Exchanger	10,846,652	16%
Turbine Generator	4,007,612	6%	Turbine Generator	4,007,612	6%
Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%
Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%	Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%
All Component Total	66,342,339	100%	All Component Total	66,037,302	100%
10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%	Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%
Mooring	\$5,738,514.00	6%	Mooring	\$5,738,514.00	6%
Submarine Power Cable	\$770,400.00	1%	Submarine Power Cable	\$513,600.00	1%
Seawater Pipes Installed	\$9,009,629.59	9%	Seawater Pipes Installed	\$8,918,103.01	9%
Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%	Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%
Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%	Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%
Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%	Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%
Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%	Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%
All Component Total	\$95,667,302.73	100%	All Component Total	\$95,318,976.15	100%
50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%	Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%
Mooring	\$11,496,682.16	5%	Mooring	\$11,496,682.16	5%
Submarine Power Cable	\$770,400.00	0%	Submarine Power Cable	\$513,600.00	0%
Seawater Pipes Installed	\$10,978,320.01	5%	Seawater Pipes Installed	\$10,833,608.98	4%
Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%	Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%
Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%	Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%
Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%	Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%
Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%	Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%
All Component Total	\$241,350,499	100%	All Component Total	\$240,948,988	100%

Lokasi III			Lokasi IV		
5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Component	\$M	Percentage	Component	\$M	Percentage
Floating Vessel	20,946,584	32%	Floating Vessel	20,946,584	32%
Mooring	4,816,969	7%	Mooring	4,816,969	7%
Submarine Power Cable	770,400	1%	Submarine Power Cable	770,400	1%
Seawater Pipes Installed	8,585,391	13%	Seawater Pipes Installed	8,488,917	13%
Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%	Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%
Heat Exchanger	10,846,652	16%	Heat Exchanger	10,846,652	16%
Turbine Generator	4,007,612	6%	Turbine Generator	4,007,612	6%
Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%
Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%	Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%
All Component Total	66,390,576	100%	All Component Total	66,294,102	100%
10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%	Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%
Mooring	\$5,738,514.00	6%	Mooring	\$5,738,514.00	6%
Submarine Power Cable	\$770,400.00	1%	Submarine Power Cable	\$770,400.00	1%
Seawater Pipes Installed	\$9,060,340.42	9%	Seawater Pipes Installed	\$8,918,103.01	9%
Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%	Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%
Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%	Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%
Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%	Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%
Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%	Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%
All Component Total	\$95,718,013.56	100%	All Component Total	\$95,575,776.15	100%
50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%	Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%
Mooring	\$11,496,682.16	5%	Mooring	\$11,496,682.16	5%
Submarine Power Cable	\$770,400.00	0%	Submarine Power Cable	\$770,400.00	0%
Seawater Pipes Installed	\$11,123,031.04	5%	Seawater Pipes Installed	\$10,833,608.98	4%
Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%	Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%
Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%	Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%
Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%	Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%
Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%	Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%
All Component Total	\$241,495,210	100%	All Component Total	\$241,205,788	100%

Lokasi V			Lokasi VI		
5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			5 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Component	\$M	Percentage	Component	\$M	Percentage
Floating Vessel	20,946,584	32%	Floating Vessel	20,946,584	32%
Mooring	4,816,969	7%	Mooring	4,816,969	7%
Submarine Power Cable	513,600	1%	Submarine Power Cable	513,600	1%
Seawater Pipes Installed	8,585,391	13%	Seawater Pipes Installed	8,488,917	13%
Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%	Seawater Pumps Installed	4,816,968	7%
Heat Exchanger	10,846,652	16%	Heat Exchanger	10,846,652	16%
Turbine Generator	4,007,612	6%	Turbine Generator	4,007,612	6%
Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	5,600,000	8%
Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%	Installation Mechanical & Electrical	6,000,000	9%
All Component Total	66,133,776	100%	All Component Total	66,037,302	100%
10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			10 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%	Floating Vessel	\$25,190,706.37	26%
Mooring	\$5,738,514.00	6%	Mooring	\$5,738,514.00	6%
Submarine Power Cable	\$513,600.00	1%	Submarine Power Cable	\$513,600.00	1%
Seawater Pipes Installed	\$9,060,340.42	9%	Seawater Pipes Installed	\$8,918,103.01	9%
Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%	Seawater Pumps Installed	\$5,738,514.00	6%
Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%	Heat Exchanger	\$21,693,304.01	23%
Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%	Turbine Generator	\$8,015,224.76	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$8,033,920.00	8%
Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%	Installation Mechanical & Electrical	\$11,477,090.00	12%
All Component Total	\$95,461,213.56	100%	All Component Total	\$95,318,976.15	100%
50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)			50 Mw OTEC PLANTSHIP (Desain)		
Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%	Floating Vessel	\$50,585,401.50	21%
Mooring	\$11,496,682.16	5%	Mooring	\$11,496,682.16	5%
Submarine Power Cable	\$513,600.00	0%	Submarine Power Cable	\$513,600.00	0%
Seawater Pipes Installed	\$11,123,031.04	5%	Seawater Pipes Installed	\$10,833,608.98	4%
Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%	Seawater Pumps Installed	\$11,496,682.16	5%
Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%	Heat Exchanger	\$97,619,868.05	40%
Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%	Turbine Generator	\$19,314,426.03	8%
Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%	Electrical/NH3/C12/Controls	\$16,095,355.02	7%
Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%	Installation Mechanical & Electrical	\$22,993,364.32	10%
All Component Total	\$241,238,410	100%	All Component Total	\$240,948,988	100%

50 MW				
Lokasi	Harga Listrik Rp/kwh	Cash in/year	Tahun BEP	IRR
1	2332	\$64,704,397	16 tahun	14.59%
2	866	\$24,028,305	>35tahun	-
3	2330	\$64,648,904	16 tahun	14.56%
4	1078	\$29,910,523	>35tahun	-
5	1016	\$28,190,252	>35tahun	-
6	2332	\$64,704,397	16 tahun	14.62%
Jika ingin memenuhi IRR 11%, maka ditemukan harga listrik yang dijual				
1	2024	\$56,158,533	16 tahun	11.00%
2	2022	\$56,103,041	16 tahun	11.00%
3	2025	\$56,186,280	16 tahun	11.00%
4	2023	\$56,130,787	16 tahun	11.00%
5	2024	\$56,158,533	16 tahun	11.01%
6	2022	\$56,103,041	16 tahun	11.00%
Dengan Catatan sebagai berikut				
Operation and Maintenance Cost (O&M) pertahun bernilai \$3.400.000				
Repair and Replacement (R&R) pertahun bernilai \$7.796.681				
5 MW				
Lokasi	Harga Listrik	Cash in/year	Tahun BEP	IRR
1	2332	\$6,470,440	>35tahun	-
2	866	\$2,402,831	>35tahun	-
3	2330	\$6,464,890	>35tahun	-
4	1078	\$2,991,052	>35tahun	-
5	1016	\$2,819,025	>35tahun	-
6	2332	\$6,470,440	>35tahun	-
Jika ingin memenuhi IRR 11%, maka ditemukan harga listrik yang dijual				
1	5528	\$15,338,161	16 tahun	11.00%
2	5515	\$15,302,090	16 tahun	11.00%
3	5530	\$15,343,710	16 tahun	11.00%
4	5527	\$15,335,386	16 tahun	11.00%
5	5519	\$15,313,189	16 tahun	11.00%
6	5515	\$15,302,090	16 tahun	11.00%
Dengan Catatan sebagai berikut				
Operation and Maintenance Cost (O&M) pertahun bernilai \$3.400.000				
Repair and Replacement (R&R) pertahun bernilai \$7.796.681				
Pinjaman bank sebesar 8% modal selama 15 tahun				
Pajak penghasilan pemerintah sebesar 5% modal selama 8 tahun dan seterusnya 25% penghasilan				

10 MW				
Lokasi	Harga Listrik Rp/kwh	Cash in/year	Tahun BEP	IRR
1	2332	\$12,940,879	>35tahun	-
2	866	\$4,805,661	>35tahun	-
3	2330	\$12,929,781	>35tahun	-
4	1078	\$5,982,105	>35tahun	-
5	1016	\$5,638,050	>35tahun	-
6	2332	\$12,940,879	>35tahun	-
Jika ingin memenuhi IRR 11%, maka ditemukan harga listrik yang dijual				
1	4200	\$23,306,901	16 tahun	11.00%
2	4191	\$23,256,958	16 tahun	11.00%
3	4200	\$23,306,901	16 tahun	11.00%
4	4198	\$23,295,803	16 tahun	11.00%
5	4195	\$23,279,155	16 tahun	11.00%
6	4192	\$23,262,507	16 tahun	11.00%
Dengan Catatan sebagai berikut				
Operation and Maintenance Cost (O&M) pertahun bernilai \$3.400.				
Repair and Replacement (R&R) pertahun bernilai \$1,981,814				